

Les technologies de l'information et la productivité : situation actuelle et perspectives d'avenir

Information Technology and Productivity: Where Are We Now and Where Are We Going?

Stephen D. Oliner et Daniel E. Sichel

Volume 81, numéro 1-2, mars-juin 2005

Productivité et croissance économique à l'ère de l'information : une perspective internationale

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/012846ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/012846ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

HEC Montréal

ISSN

0001-771X (imprimé)

1710-3991 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Oliner, S. D. & Sichel, D. E. (2005). Les technologies de l'information et la productivité : situation actuelle et perspectives d'avenir. *L'Actualité économique*, 81(1-2), 339-400. <https://doi.org/10.7202/012846ar>

Résumé de l'article

Dans la deuxième moitié des années quatre-vingt-dix, la croissance de la productivité de l'économie américaine a rebondi, un phénomène que nombre d'analystes ont attribué aux technologies de l'information. Cependant, peu de temps après que ce consensus se soit imposé, la demande pour les produits de technologies de l'information s'effondrait, relançant un vif débat sur le lien entre les technologies de l'information et la productivité, de même que sur la durabilité éventuelle d'une croissance aussi forte. Nous apportons notre contribution à ce débat de deux manières : premièrement, dans le but d'évaluer la robustesse de notre argumentation antérieure, nous prolongerons, jusqu'à la fin de 2001, notre analyse de la comptabilité de la croissance, dont nous avons déjà publié les résultats (Oliner et Sichel, 2000a). Les nouveaux résultats confirment les conclusions de nos travaux antérieurs : la croissance accélérée de la productivité du travail après 1995 découle principalement de l'usage croissant des biens d'équipement de type technologies de l'information et de gains d'efficacité accrus du côté de leur *production* ; deuxièmement, nous analyserons les propriétés de régime d'état stationnaire d'un modèle de croissance multisectoriel, afin de jauger la durabilité potentielle d'un tel regain de productivité. Nous en déduisons une fourchette de valeurs pour la croissance de la productivité du travail, se situant entre 2 % et 2 ¾ % par année, ce qui laisse présager que l'essentiel – sinon la totalité – de ce regain de vitalité pourrait être durable.

LES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION ET LA PRODUCTIVITÉ : SITUATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES D'AVENIR*

Stephen D. OLINER
Daniel E. SICHEL
Federal Reserve Board

RÉSUMÉ – Dans la deuxième moitié des années quatre-vingt-dix, la croissance de la productivité de l'économie américaine a rebondi, un phénomène que nombre d'analystes ont attribué aux technologies de l'information. Cependant, peu de temps après que ce consensus se soit imposé, la demande pour les produits de technologies de l'information s'effondrait, relançant un vif débat sur le lien entre les technologies de l'information et la productivité, de même que sur la durabilité éventuelle d'une croissance aussi forte. Nous apportons notre contribution à ce débat de deux manières : premièrement, dans le but d'évaluer la robustesse de notre argumentation antérieure, nous prolongerons, jusqu'à la fin de 2001, notre analyse de la comptabilité de la croissance, dont nous avons déjà publié les résultats (Oliner et Sichel, 2000a). Les nouveaux résultats confirment les conclusions de nos travaux antérieurs : la croissance accélérée de la productivité du travail après 1995 découle principalement de l'*usage* croissant des biens d'équipement de type technologies de l'information et de gains d'efficacité accrus du côté de leur *production*; deuxièmement, nous analyserons les propriétés de régime d'état stationnaire d'un modèle de croissance multisectoriel, afin de jauger la durabilité potentielle d'un tel regain de productivité. Nous en déduisons une fourchette de valeurs pour la croissance de la productivité du travail, se situant entre 2 % et 2 ¾ % par année, ce qui laisse présager que l'essentiel – sinon la totalité – de ce regain de vitalité pourrait être durable.

ABSTRACT – *Information Technology and Productivity: Where Are We Now and Where Are We Going?* Productivity growth in the U.S. economy jumped during the second half of the 1990s, a resurgence that many analysts linked to information technology (IT). However,

* Nos remerciements aux participants à la conférence organisée par la Réserve fédérale d'Atlanta en janvier 2002 et portant sur la technologie, la croissance et le marché du travail. Nous voulons témoigner de notre reconnaissance à Charlie Gilbert de la Réserve fédérale américaine, à Bruce Grimm et à David Wasshausen du Bureau of Economic Analysis et à Michael Harper, Larry Rosenblum et Steve Rosenthal du Bureau of Labor Statistics pour leur précieuse aide avec les données. Les opinions exprimées dans cet article sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du Conseil des gouverneurs ou de l'état-major de la Réserve fédérale américaine.

shortly after this consensus emerged, demand for IT products fell sharply, leading to a lively debate about the connection between IT and productivity and about the sustainability of the faster growth. We contribute to this debate in two ways. First, to assess the robustness of the earlier evidence, we extend the growth-accounting results in Oliner and Sichel (2000a) through 2001. The new results confirm the basic story in our earlier work – that the acceleration in labor productivity after 1995 was driven largely by the greater *use* of IT capital goods and by the more rapid efficiency gains in the *production* of IT goods. Second, to assess whether the pickup in productivity growth is sustainable, we analyze the steady-state properties of a multi-sector growth model. This exercise generates a range for labor productivity growth of 2 percent to 2 ¾ percent per year, which suggests that much – and possibly all – of the resurgence is sustainable.

INTRODUCTION¹

Après un quart de siècle de piètre progression, l'économie américaine a connu une remarquable accélération de productivité pendant la deuxième moitié de la décennie quatre-vingt-dix. De 1995 à 2000, la production horaire dans les entreprises non agricoles a augmenté à une cadence annuelle moyenne d'environ 2 ½ %, contre seulement 1 ½ % par année entre 1973 et 1995. Nos travaux antérieurs, de même que d'autres recherches, ont attribué cette poussée à la révolution amenée par les technologies de l'information, laquelle a touché toutes les sphères de l'économie américaine². Et effectivement, en 2000, l'explication par la prépondérance des technologies de l'information faisait consensus.

Toutefois, peu de temps après que ce consensus se soit imposé, le secteur de la technologie s'effondrait, car la demande pour les produits de technologies de l'information avait fondu. Reflet de cette dégringolade, les actions de nombreuses sociétés du secteur piquaient du nez et le financement se tarissait. Ces événements en ont amené plus d'un à s'interroger sur la robustesse des explications antérieures, mettant en relief le rôle des technologies de l'information. Certains doutes ont également surgi concernant la poursuite de la forte croissance de la productivité enregistrée pendant la deuxième moitié de la décennie quatre-vingt-dix. Néanmoins, les données les plus récentes restent encourageantes. Les gains de productivité sont demeurés élevés, la production horaire progressant de 2 % au cours des quatre trimestres de 2001 – une avancée beaucoup plus considérable que celle qu'on observe généralement pendant une récession.

Dans un tel contexte, beaucoup d'efforts ont été déployés pour estimer la tendance sous-jacente de la croissance de la productivité (voir, en particulier, Kiley, 2001; Martin, 2001; McKinsey Global Institute, 2001; Roberts, 2001; Bailly,

1. Le présent article s'inspire beaucoup de nos travaux antérieurs; d'ailleurs certains extraits reprennent mot pour mot des passages d'Oliner et Sichel (2000a et 2000b) et de Sichel (1997).

2. Voir Oliner et Sichel (2000 a et b), Bosworth et Triplett (2000), Brynjolfsson et Hitt (2000), Jorgenson et Stiroh (2000) et Whelan (2000) et Jorgenson (2001). Pour des opinions plus critiques formulées à cette époque concernant le rôle des technologies de l'information, voir Gordon (2000).

2002; DeLong, 2002; Gordon, 2002; Jorgenson, Ho et Stiroh, 2002). Pour la plupart, ces articles se montrent assez optimistes sur les perspectives à long terme en matière de productivité.

Nous apporterons notre contribution à cette littérature de deux façons : premièrement, pour évaluer la robustesse des résultats antérieurs concernant le rôle des technologies de l'information, nous prolongerons, jusqu'à la fin de 2001, les résultats de l'analyse de la comptabilité de la croissance effectuée par Oliner et Sichel (2000a). Les nouveaux résultats confirment de nouveau les conclusions de ces travaux, notamment que la substantielle reprise de la croissance de la productivité du travail se poursuit et que l'*usage* croissant des technologies de l'information et les gains d'efficacité dans la *production* des technologies de l'information constituent les principaux facteurs de cette remontée.

Deuxièmement, pour jauger la durabilité potentielle de cette hausse de productivité notée depuis le milieu de la dernière décennie, nous analyserons les propriétés du régime d'état stationnaire d'un modèle de croissance multisectoriel. Cet exercice nous permettra, compte tenu de divers scénarios évolutifs possibles pour le secteur de la technologie (et des autres secteurs de l'économie), de formuler des « conjectures articulées » concernant la croissance future de la productivité du travail. Comme Jorgenson (2001) le soulignait, la cadence du progrès technologique dans les industries de haute technologie – particulièrement dans les semi-conducteurs – demeurera vraisemblablement l'un des principaux moteurs de la croissance future de la productivité. Aussi, avons-nous mis au point un modèle assez sophistiqué pour esquisser les effets globaux des facteurs les plus importants. Nous ne considérons pas ce modèle de régime permanent comme un véritable outil prévisionnel, mais seulement comme un instrument pour délimiter une fourchette de résultats probables en matière de productivité du travail pour la prochaine décennie environ. Au-delà de cet horizon, les incertitudes concernant la structure et l'évolution de l'économie sont trop importantes pour que notre approche de régime permanent puisse être vraiment éclairante.

Nos « conjectures articulées » portant sur la croissance de la productivité du travail se situent entre 2 % et 2 ¾ % environ par année. La limite inférieure de cette fourchette nous est donnée par des hypothèses prudentes concernant les paramètres clés de notre modèle. Dans un tel scénario, nous supposons que les avancées technologiques dans l'industrie des semi-conducteurs, délaissant leur cadence extrêmement rapide de la seconde moitié des années quatre-vingt-dix, retombent à leur moyenne historique et que les secteurs des semi-conducteurs et des autres technologies de l'information n'arrivent pas à croître suffisamment pour prendre une place accrue en terme de part de l'activité économique (estimée en dollars courants). D'autre part, pour obtenir la limite supérieure de la fourchette, nous présumons que le rythme des progrès technologiques dans l'industrie des semi-conducteurs ne revient qu'à mi-chemin de sa moyenne historique et que les divers secteurs des technologies de l'information continuent à prendre une part croissante de l'économie. Naturellement, une grande marge d'incertitude plane sur

un tel exercice; aussi, envisagerons-nous également des scénarios plus extrêmes, dans lesquels, en régime d'état stationnaire, la croissance de la productivité du travail tomberait sous les 2 % ou outrepasserait les 3 %. Nous estimons toutefois que ces scénarios restent moins probables que ceux qui situent la croissance de la productivité du travail dans la fourchette des 2 % à 2 ¾ %. Cette fourchette, à l'intérieur de laquelle se retrouvent d'ailleurs les cadences effectivement observées dans la deuxième moitié des années quatre-vingt-dix, nous place nettement dans le camp de ceux qui croient qu'une partie importante – voire la totalité – du regain de productivité du milieu des années quatre-vingt-dix peut durer.

La prochaine section de cet article donnera les détails techniques de notre cadre analytique. La deuxième section décrira brièvement les données que nous utilisons, tandis que la troisième section relatera les résultats de notre analyse de la comptabilité de la croissance, prolongée jusqu'à la fin de 2001. La quatrième section énumérera les différents scénarios d'état stationnaire que nous analyserons avant d'en présenter les résultats. La conclusion se trouve à la dernière section. L'article comprend aussi une annexe qui fournit des renseignements détaillés sur chaque série de données utilisée pour cette recherche.

1. LE CADRE ANALYTIQUE

Nous utilisons le paradigme néoclassique d'analyse de la comptabilité de la croissance, proposé par Solow (1957) et maintes fois employé par des chercheurs depuis lors³. Ce type de modèle décompose la croissance de la productivité du travail, telle que mesurée par la production horaire, en trois grands facteurs : l'augmentation du capital par heure travaillée (que l'on désigne généralement comme l'« accroissement de l'intensité capitaliste »); les améliorations de la qualité du travail et la croissance de la « productivité multifactorielle ». La productivité multifactorielle constitue le résidu dans ce genre de modèle, prenant en compte aussi bien les améliorations de l'usage du capital et de la main-d'œuvre par les entreprises que toute éventuelle erreur dans les estimations des contributions de l'intensité capitaliste et de la qualité du travail.

Le cadre d'analyse de la comptabilité de la croissance est suffisamment souple pour aborder nombre de questions. Nous l'utiliserons pour estimer la contribution du capital des technologies de l'information à la croissance, compte tenu de son emploi dans l'ensemble de l'économie et des gains d'efficacité réalisés dans sa production. Avec une telle préoccupation, nous élaborons un modèle de l'économie des entreprises non agricoles mettant en évidence les industries clés dans les technologies de l'information. Notre modèle, qui constitue une extension du modèle à deux secteurs développé dans Martin (2001) et Whelan (2001), répartit

3. Voir Steindel et Stiroh (2001) pour un survol de l'analyse de la comptabilité de la croissance, des questions liées à la mesure de la productivité et de la croissance tendancielle de la productivité dans l'après-guerre.

les entreprises non agricoles en cinq secteurs. Quatre de ces secteurs sont à l'origine de la production finale : le matériel informatique, les logiciels, le matériel de communication et un gros secteur hors technologies de l'information, qui est responsable de la production de tous les autres biens et services finals. Le cinquième secteur produit des semi-conducteurs, lesquels sont soit consommés comme biens intermédiaires par les secteurs de production finale, soit exportés vers des firmes étrangères. Afin de se concentrer sur le rôle des semi-conducteurs au sein de l'économie, le modèle fait abstraction de tous les autres biens intermédiaires.

Notre modèle se fonde sur plusieurs hypothèses typiques de la comptabilité de la croissance. Plus spécifiquement, nous supposons que tous les marchés sont parfaitement concurrentiels et que la production de chaque secteur est caractérisée par des rendements d'échelle constants. Nous faisons aussi l'hypothèse que le travail et le capital sont complètement mobiles, ce qui implique un taux de salaire identique dans tous les secteurs et un taux de location identique pour tous les types de capital. Dans cette structure de marché concurrentiel, nous postulons que les firmes prennent leurs décisions d'investissement et d'embauche de façon à maximiser leurs profits. De plus, quand les firmes achètent du nouveau capital ou emploient des ouvriers supplémentaires, il n'existe, aussi par hypothèse, aucun « coût d'ajustement » qui réduirait temporairement le rendement jusqu'à ce que ces nouveaux intrants soient bien intégrés dans le processus de production. Enfin, nous ne modélisons pas explicitement les changements cycliques dans l'intensité avec laquelle les firmes utilisent le capital et le travail.

Ces hypothèses nous donnent un cadre analytique malléable, faisant toutefois abstraction de quelques caractéristiques évidentes de l'économie réelle. On pourrait donc craindre que des conditions aussi restrictives ne déforment les résultats. C'est pourquoi nous ne préconisons pas le recours à un cadre semblable pour analyser les fluctuations annuelles dans la croissance de la productivité; les facteurs cycliques omis du modèle pourraient sensiblement affecter les résultats. Cependant, Basu, Fernald et Shapiro (2001) ont montré que la tendance générale de la productivité au cours des années quatre-vingt-dix demeure intacte, même après avoir pris en compte les coûts d'ajustement, les rendements d'échelle non constants et les variations cycliques dans l'utilisation du capital et du travail.

Cela étant dit, examinons d'abord notre modèle ainsi que les résultats analytiques clés sous-jacents et leur interprétation.

1.1 *Le modèle de productivité sectorielle*

Cette section expose notre modèle de productivité sectorielle et en tire les résultats clés pour notre analyse de la croissance globale de la productivité du travail. Le modèle répartit les entreprises non agricoles en cinq secteurs. Quatre de ces secteurs produisent des biens finals (matériel informatique, logiciels, matériel de communication et tous les autres biens d'équipement finals). Le cinquième produit des semi-conducteurs, lesquels sont soit consommés, soit utilisés comme

intrants par les secteurs productifs de biens finals, soit exportés vers des firmes étrangères. Afin de bien mettre en lumière les relations fondamentales, le modèle fait abstraction de tous les biens intermédiaires autres que les semi-conducteurs.

Supposons que Y_i ($i = 1, \dots, 4$) désigne la production des secteurs fabriquant des biens finals. Chacun de ces secteurs produit des biens d'investissement (I_i) et des biens de consommation (C_i) pour usage domestique, I_i et C_i étant des biens identiques vendus à des agents différents (les firmes achètent I_i tandis que les ménages achètent C_i). Posons $I_{i,j}$ et $I_{i,s}$ pour désigner, respectivement, les achats I_i par le secteur j ($j = 1, \dots, 4$) produisant des biens finals et par les fabricants de semi-conducteurs, tels que $I_i = \sum_j I_{i,j} + I_{i,s}$. Chaque secteur produit aussi des biens pour l'exportation (X_i). Pour ce faire, le secteur i utilise du travail (L_i), divers types de capital ($K_{j,i}$, $j = 1, \dots, 4$) et il achète des semi-conducteurs (S_i) comme biens intermédiaires⁴. Compte tenu de cette notation, la fonction de production pour chaque secteur produisant des biens finals peut s'écrire de la façon suivante :

$$Y_i = C_i + \sum_{j=1}^4 I_{i,j} + I_{i,s} + X_i = F_i(L_i, K_{1,i}, K_{2,i}, K_{3,i}, K_{4,i}, S_i, z_i) \text{ pour } i = 1, \dots, 4 \quad (1)$$

où z_i mesure le niveau de la productivité multifactorielle. Nous n'introduisons pas explicitement la production étrangère, mais on doit considérer que les stocks de capital $K_{j,i}$ incluent des biens d'équipement importés de type j . Pour alléger la notation, nous avons omis les indices temporels dans l'équation 1 et c'est ce nous ferons tout au long de la présente section.

La production du secteur des semi-conducteurs (Y_s) est soit vendue comme biens intermédiaires aux secteurs intérieurs produisant des biens finals (S_d), soit exportée (S_x). Les semi-conducteurs achetés par les secteurs intérieurs de biens finals (les S_i) incluent les semi-conducteurs importés (S_m), ce qui implique que la production vendue pour usage intérieur peut d'écrire $S_d = \sum_i S_i - S_m$. Nous supposons que les producteurs de semi-conducteurs utilisent du travail et le même ensemble de biens d'équipement que les secteurs produisant des biens finals. Compte tenu de ces hypothèses,

$$Y_s = S_d + S_x = \sum_{i=1}^4 S_i + S_x - S_m = F_s(L_s, K_{1,s}, K_{2,s}, K_{3,s}, K_{4,s}, z_s) . \quad (2)$$

La prochaine étape consiste à définir la relation entre les variables sectorielles et leurs contreparties globales. Conformément à la théorie des nombres-indices, nous exprimons la croissance de la production agrégée finale sous la forme d'un indice superlatif de croissance de la production sectorielle finale.

4. Lorsque I ou K est affecté de deux indices, le premier renvoie au secteur qui produit le bien d'investissement, tandis que le second dénote le secteur qui l'emploie comme intrant pour sa production.

Supposons que $\dot{Z} (\delta Z / \delta t) / Z$ dénote la croissance de n'importe quelle variable Z . Alors, la croissance de la production agrégée des entreprises non agricoles (Y) dans notre modèle est

$$\dot{Y} = \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{Y}_i + \mu_{s,x} \dot{S}_x - \mu_{s,m} \dot{S}_m \quad (3)$$

où $\mu_i \equiv p_i Y_i / pY$ (pour $i = 1, \dots, 4$), $\mu_{s,x} \equiv p_s S_x / pY$, $\mu_{s,m} \equiv p_s S_m / pY$, et $pY \equiv \sum_{i=1}^4 p_i Y_i + p_s S_x - p_s S_m$. p_i et p_s désignent respectivement les prix de la production finale et des semi-conducteurs, tandis que pY représente la production globale en dollars courants. L'équation 3 exprime la croissance de la production globale avec une moyenne de la croissance de la production sectorielle, moyenne pondérée selon les parts (en dollars courants). Notez que les semi-conducteurs vendus aux secteurs de production finale intérieure constituent des biens intermédiaires pour ces secteurs; c'est pourquoi, ils n'apparaissent pas à l'équation 3. Seules les exportations nettes de semi-conducteurs figurent dans l'équation, ce qui correspond au traitement des semi-conducteurs dans les *National Income and Product Accounts* (NIPA).

Dans notre modèle, la définition des agrégats du travail et du capital est très simple. Nous supposons que le travail utilisé dans un secteur donné est identique à celui qui est utilisé par n'importe quel autre secteur. Nous faisons cette hypothèse pour chaque type de capital. Compte tenu de la nature de ces hypothèses, nous pouvons procéder directement à l'agrégation des intrants sectoriels, sans recourir aux formules d'agrégation de type « superlatif ». Autrement dit,

$$L = \sum_{i=1}^4 L_i + L_s, \quad (4)$$

$$K_j = \sum_{i=1}^4 K_{j,i} + K_{j,s} \quad \text{pour } j = 1, \dots, 4. \quad (5)$$

De plus, dans un tel cadre, il existe un taux de salaire (w) identique pour tous les secteurs et, parallèlement, un taux de location (r_j) identique pour tout capital de type j .

La consommation de travail de chaque secteur est égale au produit du nombre d'heures travaillées (H_i) par de la qualité du travail (q_i) où cette dernière correspond aux caractéristiques des travailleurs. Nous permettons à la qualité du travail de se modifier au fil du temps, mais, compte tenu de notre hypothèse de consom-

5. L'équation 3 n'est qu'un des indices superlatifs possibles pour la croissance de la production. Elle ne diverge que légèrement de l'indice chaîne de Fisher, utilisé dans les *National Income and Product Accounts* (NIPA) des États-Unis.

mation de travail identique dans tous les secteurs, q_i doit être égale à une valeur q commune à tous les secteurs et à chaque moment. En tenant compte de l'équation 4, cela entraîne que

$$L = \sum_{i=1}^4 q H_i + q H_s = qH \quad (6)$$

où H représente le nombre global d'heures travaillées.

Pour obtenir l'équation d'analyse de la comptabilité de la croissance de chaque secteur, nous ajoutons les hypothèses néoclassiques standards de concurrence parfaite et de rendements d'échelle constants. Nous supposons également qu'il n'existe pas de coût d'ajustement. Dans une telle situation, les firmes cherchant à maximiser leurs profits égaliseront le revenu marginal de chaque intrant et le coût de ce dernier sur une période.

$$w = p_s(\delta F_s / \delta L_s) = p_i(\delta F_i / \delta L_i) \quad \text{pour } i = 1, \dots, 4, \quad (7)$$

$$r_j = p_s(\delta F_s / \delta K_{j,s}) = p_i(\delta F_i / \delta K_{j,i}) \quad \text{pour } i, j = 1, \dots, 4, \quad (8)$$

$$p_s = p_i(\delta F_i / \delta S_i) \quad \text{pour } i = 1, \dots, 4. \quad (9)$$

En prenant la dérivée totale des équations 1 et 2 et en y ajoutant par la suite les conditions 7 à 9, nous obtenons les équations standards de l'analyse de la comptabilité de la croissance :

$$\dot{Y}_i = \beta_i^L \dot{L}_i + \sum_{j=1}^4 \beta_{j,i}^K \dot{K}_{j,i} + \beta_i^S \dot{S}_i + M\dot{F}P_i \quad \text{pour } i = 1, \dots, 4, \quad (10)$$

$$\dot{Y}_s = \gamma^L \dot{L}_s + \sum_{j=1}^4 \gamma_j^K \dot{K}_{j,s} + M\dot{F}P_s \quad (11)$$

où $M\dot{F}P_i \equiv (\delta F_i / \delta z_i) / F_i$, $M\dot{F}P_s \equiv (\delta F_s / \delta z_s) / F_s$. Les β et les γ représentent les parts de revenu suivantes : $\beta_i^L \equiv wL_i / p_i Y_i$, la part du travail dans le secteur i ; $\beta_{j,i}^K \equiv r_j K_{j,i} / p_i Y_i$, la part du capital de type j dans le secteur i ; $\beta_i^S \equiv p_s S_i / p_i Y_i$, la part des semi-conducteurs dans le secteur i ; $\gamma^L \equiv wL_s / p_s Y_s$, la part du travail dans le secteur des semi-conducteurs, et $\gamma_j^K \equiv r_j K_{j,s} / p_s Y_s$, la part du capital de type j dans le secteur des semi-conducteurs. Étant donné l'hypothèse des rendements d'échelle constants, la somme des parts de revenu des différents secteurs est égale à 1.

1.2 La productivité agrégée du travail

La proposition 1 donne la formule pour la croissance de la productivité du travail agrégée dans notre modèle.

Proposition 1 : *Supposons que tous les marchés sont parfaitement concurrentiels, que la production a des rendements d'échelle constants dans tous les secteurs et que l'emploi des intrants se fait sans coût d'ajustement. Alors, dans le modèle décrit par les équations 1 à 11, l'équation de la comptabilisation de la croissance pour la productivité agrégée du travail est*

$$\dot{Y} - \dot{H} = \sum_{j=1}^4 \alpha_j^K (\dot{K}_j - \dot{H}) + \alpha^L \dot{q} + M\dot{F}P$$

où

$$M\dot{F}P = \sum_{i=1}^4 \mu_i M\dot{F}P_i + \mu_S M\dot{F}P_S$$

et $\alpha^L = wL / pY$; $\alpha_j^K = r_j K_j / pY$; $\mu_i = p_i Y_i / pY$; $\mu_S = p_S Y_S / pY$.

Preuve : Pour commencer, substituons dans l'équation 3, l'expression pour \dot{Y} , tirée de l'équation 10 :

$$\begin{aligned} \dot{Y} &= \sum_{i=1}^4 \mu_i \left[\beta_i^L \dot{L}_i + \sum_{j=1}^4 \beta_{j,i}^K \dot{K}_{j,i} + \beta_i^S \dot{S}_i + M\dot{F}P_i \right] + \mu_{S,x} \dot{S}_x - \mu_{S,m} \dot{S}_m \\ &= \sum_{i=1}^4 \alpha_i^L (L_i / L) \dot{L}_i + \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^4 \alpha_j^K (K_{j,i} / K_j) \dot{K}_{j,i} + \sum_{i=1}^4 \mu_S (S_i / Y_S) \dot{S}_i \\ &\quad + \sum_{i=1}^4 \mu_i M\dot{F}P_i + \mu_{S,x} \dot{S}_x - \mu_{S,m} \dot{S}_m \end{aligned} \quad (12)$$

où la deuxième égalité découle (après quelques manipulations algébriques) de la définition des α , des β et des μ . Ensuite, prenons la dérivée totale de l'équation 2, ce qui donne

$$\dot{Y}_S = \sum_{i=1}^4 (S_i / Y_S) \dot{S}_i + (S_x / Y_S) \dot{S}_x - (S_m / Y_S) \dot{S}_m. \quad (13)$$

En multipliant l'équation 13 par μ_S et en utilisant les définitions des μ_S , $\mu_{S,x}$ et $\mu_{S,m}$,

$$\sum_{i=1}^4 \mu_S (S_i / Y_S) \dot{S}_i = \mu_S \dot{Y}_S - \mu_{S,x} \dot{S}_x + \mu_{S,m} \dot{S}_m. \quad (14)$$

Maintenant, substituons l'équation 14 dans l'équation 12, ce qui donne :

$$\dot{Y} = \alpha^L \sum_{i=1}^4 (L_i / L) \dot{L}_i + \sum_{j=1}^4 \alpha_j^K \sum_{i=1}^4 (K_{j,i} / K_j) \dot{K}_{j,i} + \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{MFP}_i + \mu_S \dot{Y}_S. \quad (15)$$

Maintenant, prenons la dérivée totale des équations 4 et 5 :

$$\dot{L} = \sum_{i=1}^4 (L_i / L) \dot{L}_i + (L_S / L) \dot{L}_S, \quad (16)$$

$$\dot{K}_j = \sum_{i=1}^4 (K_{j,i} / K_j) \dot{K}_{j,i} + (K_{j,S} / K_j) \dot{K}_{j,S} \quad (17)$$

et substituons ces équations dans 15 :

$$\begin{aligned} \dot{Y} &= \alpha^L [\dot{L} - (L_S / L) \dot{L}_S] + \sum_{j=1}^4 \alpha_j^K [\dot{K}_j - (K_{j,S} / K_j) \dot{K}_{j,S}] + \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{MFP}_i + \mu_S \dot{Y}_S \\ &= \alpha^L \dot{L} + \sum_{j=1}^4 \alpha_j^K \dot{K}_j + \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{MFP}_i \\ &\quad + \mu_S \left[\dot{Y}_S - (\alpha^L / \mu_S) (L_S / L) \dot{L}_S - \sum_{j=1}^4 (\alpha_j^K / \mu_S) (K_{j,S} / K_j) \dot{K}_{j,S} \right] \\ &= \alpha^L \dot{L} + \sum_{j=1}^4 \alpha_j^K \dot{K}_j + \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{MFP}_i + \mu_S \left[\dot{Y}_S - \gamma^L \dot{L}_S - \sum_{j=1}^4 \gamma_j^K \dot{K}_{j,S} \right] \\ &= \alpha^L \dot{L} + \sum_{j=1}^4 \alpha_j^K \dot{K}_j + \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{MFP}_i + \mu_S \dot{MFP}_S \end{aligned} \quad (18)$$

où la troisième égalité découle des définitions des α , γ et μ , et la quatrième égalité provient de l'équation 11. Pour conclure la preuve, rappelons-nous que $\dot{L} = \dot{H} + \dot{q}$ (équation 6) et que la somme des α est égale à 1 lorsque les rendements d'échelle sont constants. Par conséquent,

$$\alpha^L \dot{L} = \alpha^L (\dot{H} + \dot{q}) = \dot{H} - \sum_{j=1}^4 \alpha_j^K \dot{H} + \alpha^L \dot{q}. \quad (19)$$

Substituons l'équation 19 dans l'équation 18 et nous en arriverons à

$$\dot{Y} - \dot{H} = \sum_{j=1}^4 \alpha_j^K (\dot{K}_j - \dot{H}) + \alpha^L \dot{q} + \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{MFP}_i + \mu_S \dot{MFP}_S. \blacksquare \quad (20)$$

1.3 La productivité multifactorielle agrégée

La proposition 1 a montré que, dans notre modèle, la croissance de la productivité multifactorielle agrégée est égale à la somme pondérée de la croissance de la productivité multifactorielle dans chaque secteur. Nous pouvons réécrire ce résultat de façon à souligner les liens intrants-extrants entre les producteurs de semi-conducteurs et les secteurs produisant des biens finals. En fait, nous pouvons intégrer les fabricants de semi-conducteurs aux secteurs producteurs de biens finals, qu'ils approvisionnent.

Proposition 2 : Avec les mêmes hypothèses qu'à la proposition 1

$$\dot{MFP}_i = \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{MFP}_i + \mu_s \dot{MFP}_s = \sum_{i=1}^4 \mu_i [\dot{MFP}_i + \beta_i^s (1 + \theta) \dot{MFP}_s]$$

où $1 + \theta = Y_s \left/ \sum_{i=1}^4 S_i \right.$, le ratio production / usage de semi-conducteurs dans le pays.

Preuve : En utilisant l'équation 2 et en se référant aux définitions des μ_p , β_i^s , $\mu_{s,x}$, et $\mu_{s,m}$,

$$\begin{aligned} \mu_s &\equiv p_s Y_s / pY = p_s \left[\sum_{i=1}^4 S_i + S_x - S_m \right] / pY \\ &= \sum_{i=1}^4 (p_i Y_i / pY) (p_s S_i / p_i Y_i) + p_s (S_x - S_m) / pY = \sum_{i=1}^4 \mu_i \beta_i^s + \mu_{s,x} - \mu_{s,m} \end{aligned} \quad (21)$$

Notons que $\mu_{s,x} - \mu_{s,m}$ peut s'écrire $\mu_s (S_x - S_m) / Y_s$, de sorte que l'équation 21 devient

$$\mu_s = \sum_{i=1}^4 \mu_i \beta_i^s / [1 - (S_x - S_m) / Y_s] = \sum_{i=1}^4 \mu_i \beta_i^s \left/ \left[\sum_{i=1}^4 S_i / Y_s \right] \right. = \sum_{i=1}^4 \mu_i \beta_i^s (1 + \theta) \quad (22)$$

où la deuxième égalité découle de l'équation 2 et la troisième, de la définition $1 + \theta = Y_s \left/ \sum_{i=1}^4 S_i \right.$. Enfin, substituons l'équation 22 dans l'expression de la proposition 1, pour obtenir la croissance globale de la productivité multifactorielle :

$$\dot{MFP} = \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{MFP}_i + \mu_s \dot{MFP}_s = \sum_{i=1}^4 \mu_i [\dot{MFP}_i + \beta_i^s (1 + \theta) \dot{MFP}_s] \cdot \blacksquare \quad (23)$$

1.4 La mesure de la MFP sectorielle

Pour pouvoir utiliser les propositions 1 et 2, nous devons estimer la croissance de la productivité multifactorielle dans chaque secteur. Nous pouvons le faire soit à partir des fonctions de production sectorielle, comme dans les équations 10 et 11, soit à partir des fonctions de coûts sectoriels – c'est l'approche duale. Nous retenons cette dernière, parce que les données nécessaires sont plus faciles à obtenir. Les contreparties duales des équations 10 et 11 sont :

$$\dot{p}_i = \beta_i^L \dot{w} + \sum_{j=1}^4 \beta_{j,i}^K \dot{r}_j + \beta_i^S \dot{p}_s - \dot{MFP}_s \quad \text{pour } i = 1, \dots, 4, \quad (24)$$

$$\dot{p}_s = \gamma^L \dot{w} + \sum_{j=1}^4 \gamma_j^K \dot{r}_j - \dot{MFP}_s. \quad (25)$$

Ces équations signifient que, dans chaque secteur, la croissance des prix de production est égale à la croissance de la moyenne pondérée (selon les parts) des prix des intrants, moins la croissance de la MFP. La croissance de la productivité multifactorielle est affectée d'un signe négatif parce que les gains d'efficacité permettent de contenir les prix des extrants d'un secteur, à un coût donné des intrants.

Afin de réduire la quantité de données nécessaires pour estimer la croissance de la productivité multifactorielle à partir des équations 24 et 25, nous supposons que chaque secteur utilise les mêmes parts de travail et de capital, à un facteur de proportionnalité près, lequel est fonction de l'usage des semi-conducteurs. Autrement dit,

$$\frac{\beta_1^L}{1 - \beta_1^S} = \dots = \frac{\beta_4^L}{1 - \beta_4^S} = \gamma^L \quad \text{et} \quad \frac{\beta_{j,1}^K}{1 - \beta_1^S} = \dots = \frac{\beta_{j,4}^K}{1 - \beta_4^S} = \gamma_j^K \quad \text{pour } j = 1, \dots, 4. \quad (26)$$

On peut aisément vérifier que les parts des facteurs, ainsi liées, totalisent 1 dans chaque secteur. De plus, avec l'équation 26, on peut montrer (après certaines manipulations algébriques) que $\gamma^L = \alpha^L$ et que $\gamma_j^K = \alpha_j^K$ – c.-à-d. que les parts de revenu pour l'ensemble des entreprises non agricoles sont égales à leurs contreparties dans le secteur des semi-conducteurs. En substituant l'équation 26 dans l'équation 24 et en utilisant la relation entre les γ et les α , nous obtenons

$$\dot{p}_i = (1 - \beta_i^S) \left[\alpha^L \dot{w} + \sum_{j=1}^4 \alpha_j^K \dot{r}_j \right] + \beta_i^S \dot{p}_s - \dot{MFP}_i \quad \text{pour } i = 1, \dots, 4. \quad (27)$$

Posons $\dot{V} = \left(\alpha^L \dot{w} + \sum_{j=1}^4 \alpha_j^K \dot{r}_j \right)$ pour désigner la croissance pondérée (par les parts) des coûts du travail et du capital pour le secteur des entreprises non agricoles. En substituant \dot{V} dans les équations duales 25 et 27, sans oublier que $\gamma^L = \alpha^L$ et $\gamma_j^K = \alpha_j^K$ (équation 25), nous obtenons

$$\dot{p}_i = (1 - \beta_i^s) \dot{V} + \beta_i^s \dot{p}_s - \dot{MFP}_i \text{ pour } i = 1, \dots, 3, \quad (28)$$

$$\dot{p}_4 = (1 - \beta_4^s) \dot{V} + \beta_4^s \dot{p}_s - \dot{MFP}_4, \quad (29)$$

$$\dot{p}_s = \dot{V} - \dot{MFP}_s \quad (30)$$

où nous avons identifié clairement le secteur 4, qui jouera le rôle de secteur numéraire.

Nous exploiterons maintenant les équations duales pour obtenir des expressions pour la croissance de la productivité multifactorielle dans deux cas particuliers. Dans le premier, nous déduirons des taux de croissance de la productivité multifactorielle sectorielle compatibles avec une estimation indépendante de la croissance agrégée de la productivité multifactorielle (fournie par le Bureau of Labor Statistics). Ce cas correspond à la méthodologie que nous avons utilisée pour calculer les contributions à la croissance jusqu'en 2001. Dans le deuxième cas, celui de notre analyse de régime de l'état stationnaire, nous solutionnerons pour la croissance de la productivité multifactorielle agrégée et pour celle de la productivité multifactorielle dans les secteurs 1 à 3, compte tenu d'une hypothèse sur le rythme de progression de la productivité multifactorielle dans le secteur 4. La proposition suivante déduit les expressions décrivant la croissance sectorielle de la productivité multifactorielle pour ces deux cas.

Proposition 3 : Posons $\pi_s \equiv \dot{p}_s - \dot{p}_4$ et $\pi_i \equiv \dot{p}_s - \dot{p}_4$ ($i = 1, \dots, 3$), qui désignent les taux de variation des prix à la production de chaque secteur relativement à ceux du secteur 4. Compte tenu des équations duales 28-30, les solutions pour la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle et agrégée sont les suivantes :

Cas I : avec spécification de la croissance de la productivité multifactorielle agrégée

$$\dot{MFP}_4 = (1 - \beta_4^s) \left(\dot{MFP} + \sum_{i=1}^3 \mu_i \pi_i \right) + \left[\beta_4^s + (1 - \beta_4^s) \left(1 - \sum_{i=1}^4 \mu_i \right) \right] \pi_s,$$

$$\dot{MFP}_s = (\dot{MFP}_4 - \pi_s) / (1 - \beta_4^s),$$

$$\dot{MFP}_i = \dot{MFP}_4 - \pi_i - (\beta_i^s - \beta_4^s) \dot{MFP}_s \text{ pour } i = 1, \dots, 3.$$

Cas II : avec spécification de la croissance de la productivité multifactorielle dans le secteur 4

$$\dot{MFP}_s = (\dot{MFP}_4 - \pi_s) / (1 - \beta_4^s),$$

$$\dot{MFP}_i = \dot{MFP}_4 - \pi_i - (\beta_i^s - \beta_4^s) \dot{MFP}_s \text{ pour } i = 1, \dots, 3,$$

$$\dot{MFP} = \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{MFP}_i + \mu_s \dot{MFP}_s.$$

Preuve : Pour le cas II, la preuve est presque directe. Il suffit de soustraire l'équation 29 des équations 28 et 30. Après avoir réorganisé les termes et eu recours à l'équation 30 pour substituer \dot{MFP}_s à $\dot{V} - \dot{p}_s$, nous obtenons :

$$\dot{MFP}_i = \dot{MFP}_4 - \pi_i - (\beta_i^S - \beta_4^S) \dot{MFP}_s \text{ pour } i = 1, \dots, 3, \quad (31)$$

$$\dot{MFP}_s = (\dot{MFP}_4 - \pi_s) / (1 - \beta_4^S). \quad (32)$$

Les équations 31 et 32, plus l'expression pour la \dot{MFP} découlant de la proposition 1, nous donnent les résultats pour le cas II. Notons que cette solution est récursive – premièrement, il faut solutionner pour \dot{MFP}_s avec l'équation 32, ensuite, en substituer le résultat dans l'équation 31, pour finalement insérer tous les taux de croissance de la productivité multifactorielle sectorielle dans l'expression pour la croissance de la productivité multifactorielle globale.

Pour prouver le résultat dans le cas I, il faut substituer les équations 31 et 32 dans l'expression pour la croissance de la productivité multifactorielle globale. Après avoir réorganisé les termes, on obtient :

$$\begin{aligned} \dot{MFP} &= \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{MFP}_i + \mu_s \dot{MFP}_s \\ &= \left[\sum_{i=1}^4 \mu_i + \left[\mu_s - \sum_{i=1}^3 \mu_i (\beta_i^S - \beta_4^S) \right] / (1 - \beta_4^S) \right] \dot{MFP}_4 \\ &\quad - \sum_{i=1}^3 \mu_i \pi_i - \left[\left[\mu_s - \sum_{i=1}^3 \mu_i (\beta_i^S - \beta_4^S) \right] / (1 - \beta_4^S) \right] \pi_s. \end{aligned} \quad (33)$$

Posons $B \equiv \sum_{i=1}^4 \mu_i + \left[\mu_s - \sum_{i=1}^3 \mu_i (\beta_i^S - \beta_4^S) \right] / (1 - \beta_4^S)$ et solutionnons l'équation 33 pour \dot{MFP}_4 :

$$\dot{MFP}_4 = \left(\dot{MFP} + \sum_{i=1}^3 \mu_i \pi_i \right) / B + \pi_s \left(B - \sum_{i=1}^4 \mu_i \right) / B. \quad (34)$$

Après de laborieuses manipulations algébriques, on peut montrer que B peut se simplifier en $1 / (1 - \beta_4^S)$. En remplaçant B par cette expression, l'équation 34 devient

$$\dot{MFP}_4 = (1 - \beta_4^S) \left(\dot{MFP} + \sum_{i=1}^3 \mu_i \pi_i \right) + \left[\beta_4^S + (1 - \beta_4^S) \left(1 - \sum_{i=1}^4 \mu_i \right) \right] \pi_s. \quad (35)$$

Cette équation et les équations 31 et 32 donnent la preuve recherchée pour le cas I. À l'instar du cas II, la solution est récursive. Premièrement, il faut solutionner pour \dot{MFP}_4 à partir de l'équation 35. Ensuite, il faut en insérer le résultat dans les équations 31 et 32. ■

1.5 Analyse du régime de l'état stationnaire

Les résultats présentés jusqu'à maintenant n'exigent pas que l'économie ait atteint son état stationnaire. Nous ajouterons donc maintenant des contraintes supplémentaires pour déduire l'équation d'analyse de la comptabilité de la croissance de la productivité du travail globale en régime permanent.

La première condition de régime stationnaire stipule que l'intrant travail doit croître au même rythme dans chaque secteur :

$$\dot{L} = \dot{L}_S = \dot{L}_i \text{ pour } i = 1, \dots, 4. \quad (36)$$

Toutes les composantes de la production d'un secteur donné doivent également croître au même rythme. En revenant aux équations 1 et 2, cette contrainte entraîne ce qui suit pour les secteurs produisant des biens finals et celui des semi-conducteurs, respectivement.

$$\dot{Y}_j = \dot{C}_j = \dot{X}_j = \dot{I}_{j,S} = \dot{I}_{j,i} \text{ pour } i, j = 1, \dots, 4, \quad (37)$$

$$\dot{Y}_S = \dot{S}_x = \dot{S}_m = \dot{S}_i \text{ pour } i = 1, \dots, 4. \quad (38)$$

De plus, nous supposons que, dans les équations 36-38, tous les taux de croissance sont constants, de même que la proportion importée du stock de capital de chaque secteur. Puisque $I_{j,i}$ croît à une cadence temporelle constante, le stock de ce capital (produit dans le pays) croîtra au même rythme (constant). De plus, la proportion importée de chaque stock de capital étant supposée constante, le stock total, incluant le capital importé $K_{j,i}$, croîtra à la même cadence que celui qui a été produit au pays. Ce raisonnement aboutit à $\dot{I}_{j,i} = \dot{K}_{j,i}$ et $\dot{I}_{j,S} = \dot{K}_{j,S}$ pour tout i et j . En insérant ces égalités dans l'équation 37, nous obtenons

$$\dot{Y}_j = \dot{K}_{j,i} = \dot{K}_{j,S} \text{ pour } i, j = 1, \dots, 4. \quad (39)$$

Proposition 4 : Avec les conditions de régime permanent décrites par les équations 36-39 et les contraintes sur les parts de revenu des secteurs (équation 26), l'équation d'analyse de la comptabilité de la croissance de la productivité globale du travail est

$$\dot{Y} - \dot{H} = \sum_{i=1}^4 (\alpha_i^K / \alpha_i^L) (\dot{MFP}_i + \beta_i^S \dot{MFP}_S) + \dot{q} + \dot{MFP}$$

où

$$M\dot{F}P = \sum_{i=1}^4 \mu_i M\dot{F}P_i + \mu_s M\dot{F}P_s.$$

Preuve : Substituons les équations 26, 36, 38 et 39 dans les équations d'analyse de la comptabilité de la croissance 10 et 11, sans oublier que $\gamma^L = \alpha^L$ et $\gamma_j^K = \alpha_j^K$ avec les contraintes intersectorielles sur les parts de revenu. Il en résulte :

$$\dot{Y}_i = (1 - \beta_i^S) \alpha^L \dot{L} + \sum_{j=1}^4 (1 - \beta_i^S) \alpha_j^K \dot{Y}_j + \beta_i^S \dot{Y}_s + M\dot{F}P_i \quad \text{pour } i = 1, \dots, 4, \quad (40)$$

$$\dot{Y}_s = \alpha^L \dot{L} + \sum_{j=1}^4 \alpha_j^K \dot{Y}_j + M\dot{F}P_s. \quad (41)$$

Les équations (40) et (41) forment un système de cinq équations en $(\dot{Y}_1, \dots, \dot{Y}_4, \dot{Y}_s)$. La solution de ce système est

$$\dot{Y}_i = \dot{L} + M\dot{F}P_i + \sum_{j=1}^4 (\alpha_i^K / \alpha^L) M\dot{F}P_j + \left[\beta_i^S + \sum_{j=1}^4 (\alpha_i^K / \alpha^L) \beta_j^S \right] M\dot{F}P_s$$

pour $i = 1, \dots, 4,$ (42)

$$\dot{Y}_s = \dot{L} + \sum_{j=1}^4 (\alpha_j^K / \alpha^L) M\dot{F}P_j + \left[1 + \sum_{j=1}^4 (\alpha_j^K / \alpha^L) \beta_j^S \right] M\dot{F}P_s. \quad (43)$$

Maintenant, substituons les équations 42 et 43 dans l'équation 3 (l'expression pour la croissance de la production globale) et réorganisons les termes, sans oublier que $\dot{S}_x = \dot{S}_m = \dot{Y}_s$ (équation 38) :

$$\begin{aligned} \dot{Y} &= \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{Y}_i + \mu_{s,x} \dot{S}_x - \mu_{s,m} \dot{S}_m = \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{Y}_i + (\mu_{s,x} - \mu_{s,m}) \dot{Y}_s \\ &= \dot{L} + \sum_{i=1}^4 (\alpha_i^K / \alpha^L) (M\dot{F}P_i + \beta_i^S M\dot{F}P_s) + \sum_{i=1}^4 \mu_i M\dot{F}P_i \\ &\quad + \left[\sum_{i=1}^4 \mu_i \beta_i^S + \mu_{s,x} - \mu_{s,m} \right] M\dot{F}P_s. \end{aligned} \quad (44)$$

En tenant compte que $\dot{L} = \dot{H} + \dot{q}$ et que $\mu_s = \sum_{i=1}^4 \mu_i \beta_i^S + \mu_{s,x} - \mu_{s,m}$ (à cause de l'équation 21), nous obtenons :

$$\dot{Y} - \dot{H} = \sum_{i=1}^4 (\alpha_i^K / \alpha^L) (\dot{MFP}_i + \beta_i^S \dot{MFP}_S) + \dot{q} + \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{MFP}_i + \mu_S \dot{MFP}_S. \blacksquare \quad (45)$$

1.6 La croissance de la productivité agrégée du travail

Comme le montre la première proposition du modèle, notre modèle en arrive à une décomposition standard de la croissance de la productivité globale du travail. Posons que \dot{Z} dénote le taux de croissance d'une quelconque variable Z . Alors, la croissance globale de la production horaire de l'ensemble des entreprises non agricoles peut s'écrire :

$$\begin{aligned} \dot{Y} - \dot{H} &= \alpha_C^K (\dot{K}_C - \dot{H}) + \alpha_{SW}^K (\dot{K}_{SW} - \dot{H}) + \alpha_M^K (\dot{K}_M - \dot{H}) + \alpha_O^K (\dot{K}_O - \dot{H}) \\ &\quad + \alpha^L \dot{q} + \dot{MFP} \\ &= \sum_{j=1}^4 \alpha_j^K (\dot{K}_j - \dot{H}) + \alpha^L \dot{q} + \dot{MFP} \end{aligned} \quad (46)$$

où Y correspond à la production réelle des entreprises non agricoles; H dénote le nombre d'heures travaillées dans les entreprises non agricoles; K_C , K_{SW} , K_M et K_O représentent les services rendus par les stocks de matériel informatique, de logiciels, de matériel de communication et de tout autre capital physique, respectivement et q dénote la qualité du travail. Les facteurs α sont les parts de revenu. Selon les hypothèses de notre modèle, la part de revenu de chaque intrant est égale à l'élasticité de la production à cet intrant, la somme des parts de revenu est égale à 1. La deuxième ligne de l'équation 46 se contente de réécrire la décomposition d'une façon plus compacte, les indices j référant aux quatre types de capital⁶.

L'équation 46 montre que la croissance de la productivité du travail reflète l'intensité capitalistique, les améliorations dans la qualité du travail et les gains de la productivité multifactorielle. La contribution globale à la croissance provenant de l'intensification capitalistique est définie comme la somme des contributions des quatre types de capital. Chacune de ces contributions est égale à l'augmentation de ce type de capital par heure travaillée, augmentation toutefois pondérée par la part de revenu associée à ce capital. Cette décomposition est tout à fait standard et se compare à celle qui a été utilisée dans Oliner et Sichel (2000a et 2000b). Notez que l'équation 46 ne spécifie pas quels secteurs utilisent le capital et le travail; tout ce qui compte est le montant global de chaque intrant. Compte tenu de nos hypothèses, nous n'avons pas besoin de suivre à la trace chacun des

6. Pour simplifier la notation, les indices temporels sur les parts de revenu et les divers taux de croissance ont été omis. Pour mesurer les taux de croissance, nous utilisons la différence des logarithmes. La part de revenu assignée à une différence de logarithmes entre la période t et la période $t + 1$ correspond à la moyenne des parts sur ces deux périodes.

secteurs, puisque chaque type de capital a le même produit marginal quel que soit l'endroit où il est utilisé; un argument identique s'applique au travail. Par conséquent, dans l'ensemble, les transferts de capital ou de travail d'un secteur à l'autre n'ont aucun effet sur la productivité du travail pour les entreprises non agricoles.

Notre décomposition des sources de la croissance dépend beaucoup des parts de revenu allant aux divers types de capital. Puisque ces parts ne sont pas directement observables, nous les estimons avec la méthode utilisée par le Bureau of Labor Statistics (BLS). Ainsi, la part de revenu allant au capital du type j est

$$\alpha_j = (R + \delta_j - \Pi_j) T_j p_j K_j / pY \quad (47)$$

où R est une mesure du taux de rendement nominal net du capital, identique pour tous les types de capital, compte tenu de notre hypothèse de maximisation du profit; δ_j est le taux de dépréciation pour le capital du type j ; Π_j mesure n'importe quel changement prévu de la valeur de ce capital, outrepassant le taux de dépréciation; T_j est un paramètre composite de taxation; $p_j K_j$ est le stock de ce capital en dollars courants; pY est le revenu total (en dollars courants) dans le secteur des entreprises non agricoles. L'idée motivant l'équation 47 est très intuitive. Dans un marché concurrentiel, chaque dollar de capital du type j doit rapporter un rendement annuel brut correspondant au rendement net de tout capital, auquel doivent s'ajouter la perte de valeur que ce capital encourt pendant l'année et les taxes qui frapperont le revenu dégagé. Le produit de ce rendement brut et du stock (en dollars courants) est égal au revenu en dollars courants, supposé gagné par le capital du type j , que nous divisons par le revenu total dans les entreprises non agricoles pour obtenir la part de revenu recherchée. Lorsqu'on calcule la part de chaque type de capital de cette façon, la part du travail est tout simplement égale à 1 moins la somme des parts de capital.

1.7 Croissance globale et sectorielle de la productivité multifactorielle

Dans l'équation 46, le terme décrivant la croissance globale de la productivité multifactorielle peut se décomposer en contributions sectorielles. Plus spécifiquement, selon la proposition 1 décrivant le modèle, nous avons :

$$\dot{MFP} = \sum_{i=1}^4 \mu_i \dot{MFP}_i + \mu_s \dot{MFP}_s \quad (48)$$

où i est l'indice pour les quatre secteurs de production finale, s désigne le secteur des semi-conducteurs et le terme en μ de chacun des secteurs représente la production exprimée en proportion de toute la production des entreprises non agricoles, en dollars courants. Il s'agit du schéma de pondérations sectorielles proposé par Domar (1961) et justifié d'une façon formelle par Hulten (1978). La somme des pondérations de Domar est supérieure à 1, ce qui peut sembler étrange à

première vue⁷. Toutefois, nous avons besoin de ces pondérations pour prendre en compte la production des biens intermédiaires. Sans cet « excédent » de pondération, les gains de productivité multifactorielle découlant de la production des semi-conducteurs (le seul bien intermédiaire dans notre modèle) seraient absents de la décomposition de la croissance globale de la productivité multifactorielle.

Pour illustrer encore mieux ce point, notez que l'équation 3 peut se réécrire ainsi :

$$\dot{MFP} = \sum_{i=1}^4 \mu_i [\dot{MFP}_i + \beta_i^s (1 + \theta) \dot{MFP}_s] \quad (49)$$

où $(1 + \theta)$ est égal au ratio production / usage de semi-conducteurs dans le pays et β_i^s désigne les achats de semi-conducteurs par le secteur i produisant des biens finals, en proportion du coût total des intrants du secteur. Ce résultat, qui découle de la proposition 2, montre que le secteur des semi-conducteurs peut effectivement être intégré verticalement avec les secteurs qu'il approvisionne et qui produisent les biens finals. La croissance de la productivité multifactorielle dans chacun des secteurs verticalement intégrés – le terme dans les crochets – incorpore les gains de la productivité multifactorielle réalisés dans les usines spécialisées dans la production de semi-conducteurs. Ainsi, l'équation 49 montre qu'on peut considérer le schéma de pondérations de Domar (dans l'équation 48) comme l'agrégation de la croissance de la productivité multifactorielle de ces secteurs verticalement intégrés.

Pour pouvoir utiliser l'équation 48, nous devons estimer la croissance de la productivité multifactorielle pour chaque secteur de notre modèle. Nous réalisons cela avec la « méthode duale », utilisée entre autres par Triplett (1996) et Whelan (2000). Cette méthode se sert, pour le calcul de la croissance sectorielle de la productivité multifactorielle, des prix des intrants et des extrants, plutôt que de leurs quantités. Nous choisissons l'approche duale parce que les données requises sont davantage à notre portée.

L'idée sous-jacente à l'approche à deux volets peut s'illustrer avec l'exemple des semi-conducteurs, dont les prix ont suivi une forte tendance à la baisse depuis longtemps. Afin de simplifier cet exemple, supposons que le prix des intrants pour le secteur des semi-conducteurs demeure stationnaire. Pour que les prix des semi-conducteurs puissent chuter comparativement à ceux des autres biens et services, la croissance de la productivité multifactorielle chez les producteurs de semi-

7. Il est facile de voir que la somme des pondérations dépasse 1 avec le cas où les producteurs de semi-conducteurs vendent toute leur production aux quatre secteurs fabriquant les produits finals, excluant donc toute exportation. Dans ce cas, tous les semi-conducteurs deviennent des biens intermédiaires et la production des quatre secteurs de biens finals constitue toute la production des entreprises non agricoles. Par conséquent la somme des termes en μ de ces secteurs est déjà égale à 1, avant même d'ajouter μ_s . Avec quelques manipulations algébriques, on peut montrer que la somme des termes en μ dépasse l'unité dans le cas plus général comportant l'exportation de semi-conducteurs.

conducteurs doit être élevée comparativement à celle des autres secteurs. Dans le cas contraire, les fabricants de semi-conducteurs seraient acculés à la faillite, coincés entre le déclin incessant des prix de leur production et la stabilité de leurs coûts. Cet exemple nous aide à comprendre que les taux de croissance comparatifs de la productivité multifactorielle sectorielle peuvent se déduire des mouvements de prix relatifs des produits⁸.

Nous nous basons sur cette relation pour estimer la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle. La proposition 3 donne les détails et elle nécessite des manipulations algébriques laborieuses. D'une façon approximative, chaque taux de croissance sectoriel de la productivité multifactorielle sectorielle peut s'écrire :

$$\dot{MFP}_i = \dot{MFP}_O - \pi_i + \text{les termes de la croissance relative du coût des intrants sectoriels} \quad (50)$$

où $\pi_i \equiv (\dot{p}_i - \dot{p}_O)$ désigne l'écart dans l'inflation des prix à la production entre le secteur i et « l'autre secteur de production finale », qui nous sert de secteur de référence. Si les coûts des intrants augmentent à la même cadence dans tous les secteurs, toute variation dans les prix relatifs de la production sera exactement à l'image des différences intersectorielles dans la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle. Si les semi-conducteurs comptent pour une grande partie des coûts des constructeurs d'ordinateurs, nous savons déjà que les coûts des intrants de cette industrie baissent comparativement à ceux des autres secteurs. Le terme supplémentaire dans l'équation 50 représente justement ces écarts dans les coûts sectoriels des intrants.

Notez que l'équation 50 donne les taux relatifs de croissance de la productivité multifactorielle sectorielle, plutôt que le niveau absolu des différents secteurs. Nous pouvons retrouver les taux de croissance absolus de la productivité multifactorielle sectorielle de deux façons : premièrement, en ayant recours à l'équation 48 pour forcer les taux de croissance sectoriels de la productivité multifactorielle sectorielle à reproduire notre estimation de la croissance globale de la productivité multifactorielle sectorielle – c'est d'ailleurs la méthode que nous avons utilisée

8. En concurrence parfaite, le taux de croissance de la productivité multifactorielle dans chaque secteur peut se déduire avec exactitude du mouvement des prix relatifs. Cependant, si les marchés ne sont pas parfaitement concurrentiels, la méthode à deux volets donnera une estimation inexacte de la croissance de la productivité multifactorielle, dans la mesure où les variations de prix relatifs résulteront de fluctuations des marges plutôt que du développement technologique. Évidemment, si la concurrence était imparfaite mais que les marges étaient *constantes*, le taux de croissance de la productivité multifactorielle pourrait toujours se déduire exactement des mouvements de prix relatifs parce que les *variations* de marges ne pourraient occasionner des changements dans les prix relatifs. Dans le secteur des semi-conducteurs – où la concentration du marché laisse présager un problème de ce genre particulièrement grave avec la méthode à deux volets –, Aizcorbe (2002) a montré qu'un indice classique de Tornquist portant sur les prix des microprocesseurs Intel a, en moyenne, chuté de 24 ½ % par trimestre de 1993 à 1999. Après redressement pour les fluctuations des marges d'Intel au cours de la même période, Aizcorbe a calculé que les prix des puces d'Intel a dégringolé de 21 % par trimestre. Il en ressort que la variabilité des marges n'a eu, en moyenne, que peu d'impact sur le prix des puces au cours de cette période.

pour calculer les contributions à la croissance historique jusqu'en 2001; deuxièmement – et c'est la méthode dont nous nous sommes servis pour notre analyse du régime permanent –, nous fixons, par hypothèse, un taux prévisible pour la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle dans « l'autre secteur de production finale », ce qui nous permet de déterminer les autres taux de croissance sectoriels de la productivité multifactorielle sectorielle par l'entremise de l'équation 50 et la croissance globale de la productivité multifactorielle sectorielle, par l'entremise de l'équation 48.

1.8 Analyse de l'état stationnaire

En plus d'expliquer la remontée de la productivité au cours des années quatre-vingt-dix, nous voulons estimer une fourchette plausible pour sa croissance future. Pour ce faire, nous ajoutons à notre modèle des conditions de régime permanent, en suivant de près l'analyse à deux secteurs effectuée par Martin (2001) et Whelan (2001).

Parmi ces conditions, se trouve l'hypothèse selon laquelle la production de chaque secteur croît à un rythme constant (mais différent pour chaque secteur). De plus, nous ajoutons d'autres conditions qui garantiront que la croissance de l'investissement dans chaque type de capital se produise au même taux (constant) que celle du stock de ce même capital. On peut montrer que, conjointement, ces conditions impliquent que la production dans chaque secteur de production finale croît au même taux (constant) que le stock de capital, qui consiste en biens d'investissement produits par ce même secteur. Deux autres conditions importantes sont que les heures travaillées augmentent au même rythme (constant) dans tous les secteurs et que toutes les parts de revenu et les parts de production sectorielle restent constantes.

Compte tenu de ces hypothèses de l'état stationnaire, et conformément à la proposition 4, l'équation d'analyse de la comptabilité de la croissance pour la productivité agrégée du travail devient :

$$\dot{Y} - \dot{H} = \sum_{i=1}^4 (\alpha_i^K / \alpha^L) (\dot{MFP}_i + \beta_i^S \dot{MFP}_S) + \dot{q} + \dot{MFP} \quad (51)$$

où la \dot{MFP} est obtenue, comme précédemment, de l'équation 48. Notez que l'équation 51 ne renferme aucun terme explicite pour l'intensification du capital, contrairement à son homologue qui n'est pas à l'état stationnaire, c.-à-d. l'équation 46. Ce terme n'apparaît pas parce qu'à l'état stationnaire, la cadence de l'intensification du capital est déterminée d'une façon endogène dans le modèle, en fonction des taux de croissance sectoriels de la productivité multifactorielle sectorielle. Aussi, la sommation du membre de droite de l'équation 51 représente-t-elle la contribution à la croissance de l'intensification du capital induite. Dans le cadre de cette interprétation, il est clair que les équations 46 et 51 ont une structure

commune – les deux indiquent que la croissance de la productivité du travail est tributaire de l'intensification du capital, des améliorations de la qualité du travail et de la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle.

Pour continuer l'interprétation de l'équation 51, examinons l'équation d'analyse causale de la croissance (hors du régime permanent) pour un modèle simple à un seul secteur :

$$\dot{Y} - \dot{H} = \alpha^K(\dot{K} - \dot{H}) + \alpha^L \dot{q} + M\dot{F}P. \quad (52)$$

Maintenant, appliquons la condition de régime stationnaire, selon laquelle la production et le stock de capital croissent au même rythme, et substituons $\dot{K} = \dot{Y}$ dans l'équation 52, sans oublier que $\alpha^K + \alpha^L = 1$ en rendements d'échelle constants. Il en résulte :

$$\dot{Y} - \dot{H} = \dot{q} + M\dot{F}P / \alpha^L = (\alpha^K / \alpha^L) M\dot{F}P + \dot{q} + M\dot{F}P \quad (53)$$

où la deuxième égalité découle du fait que $(\alpha^K / \alpha^L) = (1 / \alpha^L) - 1$, lorsque $\alpha^K + \alpha^L = 1$.

En comparant les équations 51 et 53, on voit que notre décomposition de la croissance en régime stationnaire n'est que l'homologue multisectoriel de la décomposition d'un modèle à un secteur.

1.9 Résumé

Nous utilisons les équations 46-48 et 50 pour décomposer la croissance observée dans la productivité du travail jusqu'en 2001. L'équation 46 nous donne la structure de la décomposition, tandis que l'équation 47 nous indique comment calculer les parts du revenu national et que les équations 48 et 50 (utilisées avec la méthode duale) montrent comment nous articulons la croissance globale de la productivité multifactorielle sectorielle avec ses composantes sectorielles. Pour estimer la croissance de la productivité du travail en régime stationnaire, nous remplaçons l'équation 46 par l'équation 51, mais pour le reste, nous conservons les mêmes instruments que pour les décompositions chronologiques.

2. LES DONNÉES

Cette section donnera un aperçu des données qui ont été utilisées pour préparer cet article; une description plus détaillée se trouve à l'annexe. Dans l'estimation des différentes composantes de la croissance de la productivité du travail, nous avons eu recours surtout aux données du Bureau of Economic Analysis (BEA) et à celles du Bureau of Labor Statistics (BLS). Nous sommes partis des séries de données produites par le BLS pour estimer la productivité multifactorielle. Ces données annuelles portent sur le secteur des entreprises privées non agricoles aux États-Unis et mesurent la croissance de la production réelle, la contribution du capital réel, les heures travaillées et la qualité du travail. Au moment d'écrire ces lignes, les séries de données du BLS couvrent la période allant jusqu'à la fin de 2000 et nous avons extrapolé toutes les séries qui nous ont été nécessaires jusqu'à la fin de 2001.

Les parts de revenu dans nos calculs d'analyse de la comptabilité de la croissance reposent sur des estimations du taux de rendement brut de chaque catégorie d'actif ($R + \delta_j - \Pi_j$). Afin de mesurer les composantes du rendement brut, nous nous basons de nouveau sur les données du BEA et du BLS. Sauf pour quelques exceptions, les taux de dépréciation (δ_j) des divers types de matériel, des logiciels et des structures sont ceux qui sont publiés par le BEA. Étant donné que le BEA ne donne que peu de renseignements concernant les taux de dépréciation pour les composants d'ordinateur et le matériel périphérique, nous adoptons, à l'instar de Whelan (2000), comme taux de dépréciation une approximation géométrique, calculée à partir des stocks de capital et des flux d'investissements publiés par le BEA. Étant insatisfaits de l'approche adoptée par le BEA concernant les ordinateurs personnels (PC), nous avons préféré utiliser le même taux de dépréciation annuel pour les PC que pour les gros ordinateurs (30 %). (Pour des explications concernant cette question, voir l'annexe.) Pour estimer le terme du gain (ou de la perte) en capital dans le rendement brut (Π_j), nous avons recours à une moyenne mobile sur 3 ans de la variation en pourcentage du prix de chaque type actif. La moyenne mobile vient lisser les variations annuelles – souvent fort importantes – des prix et reflète probablement plus fidèlement les gains (ou pertes) en capital auxquels les propriétaires s'attendent lorsqu'ils prennent leurs décisions d'investissement. Enfin, pour estimer le rendement net (R), nous adoptons l'approche du BLS, qui calcule la moyenne du rendement net réalisé sur l'ensemble des stocks de matériel, de logiciels et de structures. En ayant recours à ce rendement net moyen pour la part du revenu national de chaque actif, nous posons en fait l'hypothèse néoclassique selon laquelle tous les types de capital récoltent le même rendement net au cours d'une année.

Pour rendre opérationnel notre modèle de la productivité multifactorielle sectorielle, nous avons besoin de données sur les ventes finales de matériel informatique, de logiciels et de matériel de communication, de même que sur le secteur des semi-conducteurs. Nos données sur les ventes finales de matériel informatique proviennent des *National Income and Product Accounts (NIPA)*, et nous avons utilisé des données non publiées du BEA pour calculer les ventes finales de logiciels et de matériel de communication. Pour le secteur des semi-conducteurs, nous avons exploité les données de la Semiconductor Industry Association, en plus de celles qui ont été élaborées par le personnel de la Réserve fédérale américaine pour préparer les statistiques concernant la production industrielle américaine.

3. DÉCOMPOSITION DE LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL

Comme nous l'avons expliqué précédemment, nos recherches antérieures ont montré que les technologies de l'information ont effectivement été un moteur de l'accélération de la productivité du travail dans la deuxième moitié des années quatre-vingt-dix. Toutefois, des événements récents – notamment l'éclatement de la bulle du Nasdaq et le dramatique repli du secteur de la haute technologie – ont jeté des doutes concernant la robustesse de ces résultats. En prolongeant nos

estimations jusqu'à la fin de 2001, nous pourrions savoir si les dernières données s'accordent avec nos conclusions antérieures. Nous exposerons donc maintenant nos nouveaux résultats et nous les comparerons à nos anciens.

3.1 Résultats pour la période allant jusqu'à la fin de 2001

Le tableau 1 expose notre décomposition de la croissance de la productivité du travail dans les entreprises non agricoles jusqu'à la fin de 2001. Comme on peut le constater à la première ligne du tableau, la croissance de la productivité du travail s'est accélérée, passant d'environ 1,5 % par année dans la première moitié de la décennie quatre-vingt-dix à environ 2,4 % depuis 1995⁹. Une rapide intensification du capital dans les technologies de l'information – l'emploi accru des technologies de l'information – explique environ trois cinquièmes de cette remontée (ligne 3)¹⁰. Les autres types de capital (ligne 7) ont beaucoup moins contribué à la remontée de la productivité du travail, alors que la contribution de la qualité du travail a plutôt régressé au cours de ces deux périodes. Il incombe donc à la productivité multifactorielle (ligne 9) d'expliquer un peu moins de la moitié de l'accélération de la productivité du travail.

Ensuite, nous décomposons cette contribution générale de la productivité multifactorielle sectorielle en ses diverses fractions sectorielles, afin d'estimer la contribution à la croissance de la *production* des technologies de l'information. Les lignes 10-14 du tableau 1 font état de cette décomposition sectorielle. Les résultats montrent que la contribution du secteur des semi-conducteurs (ligne 10) à la productivité multifactorielle sectorielle a bondi après 1995. Selon notre approche duale, cette remontée est attribuable au déclin plus rapide des prix des semi-conducteurs pendant cette période, ce que le modèle interprète comme une hausse de la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle. Par contre, la contribution agrégée des autres secteurs des technologies de l'information à la productivité multifactorielle sectorielle (lignes 11-13) n'a que peu augmenté après 1995, comparativement à la première moitié de la décennie quatre-vingt-dix.

9. Notez que les données de production horaire du tableau 1 reposent sur la série publiée par le BLS concernant la production des entreprises non agricoles. Cette série constitue une mesure de production du « côté des produits », qui comptabilise les dépenses pour des biens et services produits par les entreprises non agricoles. On aurait pu mesurer la production du « côté des revenus », en faisant la somme des paiements effectués au capital et aux travailleurs de ce secteur. Bien que ces deux mesures de production donnent, en moyenne, des valeurs pratiquement identiques à long terme, des divergences significatives sont apparues ces dernières années. Selon nos estimations, l'accélération du « côté des revenus » ressort à environ 1/3 de point de pourcentage de plus (en taux annuel moyen) après 1995. Nous utilisons les données du « côté des produits » pour maintenir une compatibilité avec les autres recherches; en outre, si on devait procéder à des redressements dans la production et la croissance de la productivité du travail, on ne sait trop comment ils devraient être répartis entre les diverses composantes de l'intensification du capital et la croissance de la productivité multifactorielle. En définitive, la véritable recrudescence de la productivité après 1995 pourrait, jusqu'à un certain point, être plus élevée que celle qui figure dans notre tableau.

10. Comme nous le mentionnons à l'annexe, certains signes laissent présager que le BEA pourrait rajuster à la baisse ses données concernant les dépenses dans les logiciels lors de la prochaine ronde de révision des lignes directrices des *NIPA*. Le cas échéant, la contribution des logiciels à la croissance, figurant à la ligne 5, s'en trouverait réduite.

TABLEAU 1

CONTRIBUTION À LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL,
INCLUANT LES DONNÉES LES PLUS RÉCENTES

	1974- 1990 (1)	1991- 1995 (2)	1996- 2001 (3)	Variation après 1995 (3) moins (2)
1. Croissance de la productivité du travail ¹	1,36	1,54	2,43	0,89
Contributions de ²				
2. Intensification capitaliste	0,77	0,52	1,19	0,67
3. Capital des TI	0,41	0,46	1,02	0,56
4. Matériel informatique	0,23	0,19	0,54	0,35
5. Logiciels	0,09	0,21	0,35	0,14
6. Matériel de communication	0,09	0,05	0,13	0,08
7. Autre capital	0,37	0,06	0,17	0,11
8. Qualité du travail	0,22	0,45	0,25	-0,20
9. Productivité multifactorielle	0,37	0,58	0,99	0,41
10. Semi-conducteurs	0,08	0,13	0,42	0,29
11. Matériel informatique	0,11	0,13	0,19	0,06
12. Logiciels	0,04	0,09	0,11	0,02
13. Matériel de communication	0,04	0,06	0,05	-0,01
14. Autres secteurs	0,11	0,17	0,23	0,06
15. Contribution totale des TI ³	0,68	0,87	10,79	0,92

NOTE : TI signifie technologies de l'information. À cause des arrondis, la somme des ventilations peut ne pas égarer exactement le total.

1. Dans le secteur des entreprises non agricoles. Mesurée par la différence des logarithmes des moyennes annuelles pour les périodes spécifiées, multipliée par 100.

2. En points de pourcentage par année.

3. Correspond à la somme des lignes 3 et des lignes 10 à 13.

SOURCE : Calculs des auteurs, à partir des données du BEA et du BLS.

Du côté du matériel informatique, la baisse particulièrement rapide des prix après 1995 pourrait nous faire croire que la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle dans ce secteur s'est fortement accélérée. Cependant, nous l'avons indiqué précédemment, le secteur informatique – tel que nous le définissons – n'inclut pas la production des semi-conducteurs incorporés dans le matériel. Ainsi, la productivité multifactorielle sectorielle du secteur informatique ne représente

que les gains d'efficacité dans la conception et l'assemblage des ordinateurs, sans tenir compte des améliorations dans la production des semi-conducteurs eux-mêmes. En conséquence, nos résultats indiquent que l'accélération de la baisse des prix des ordinateurs après 1995 résulte en grande partie de la forte diminution des prix des semi-conducteurs, plutôt que de la construction des ordinateurs eux-mêmes.

Les secteurs des logiciels et du matériel de communication ont assez peu contribué à la productivité multifactorielle sectorielle pendant les périodes 1991-1995 et 1996-2001. Selon les données publiées, les prix relatifs des logiciels et du matériel de communication sont tombés, au cours de ces périodes, beaucoup moins rapidement que les prix relatifs des ordinateurs¹¹. En outre, nos données concernant le matériel de communication indiquent qu'une grande partie de la baisse des prix relatifs qui s'est effectivement produite a reflété la chute des prix d'approvisionnement en semi-conducteurs, situation que notre décomposition sectorielle attribue à la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle dans l'industrie des semi-conducteurs plutôt que dans le matériel de communication. Ainsi, la méthode duale suggère-t-elle que les gains de la productivité multifactorielle sectorielle dans les logiciels et le matériel de communication ont été beaucoup plus faibles que ceux dans le secteur des ordinateurs.

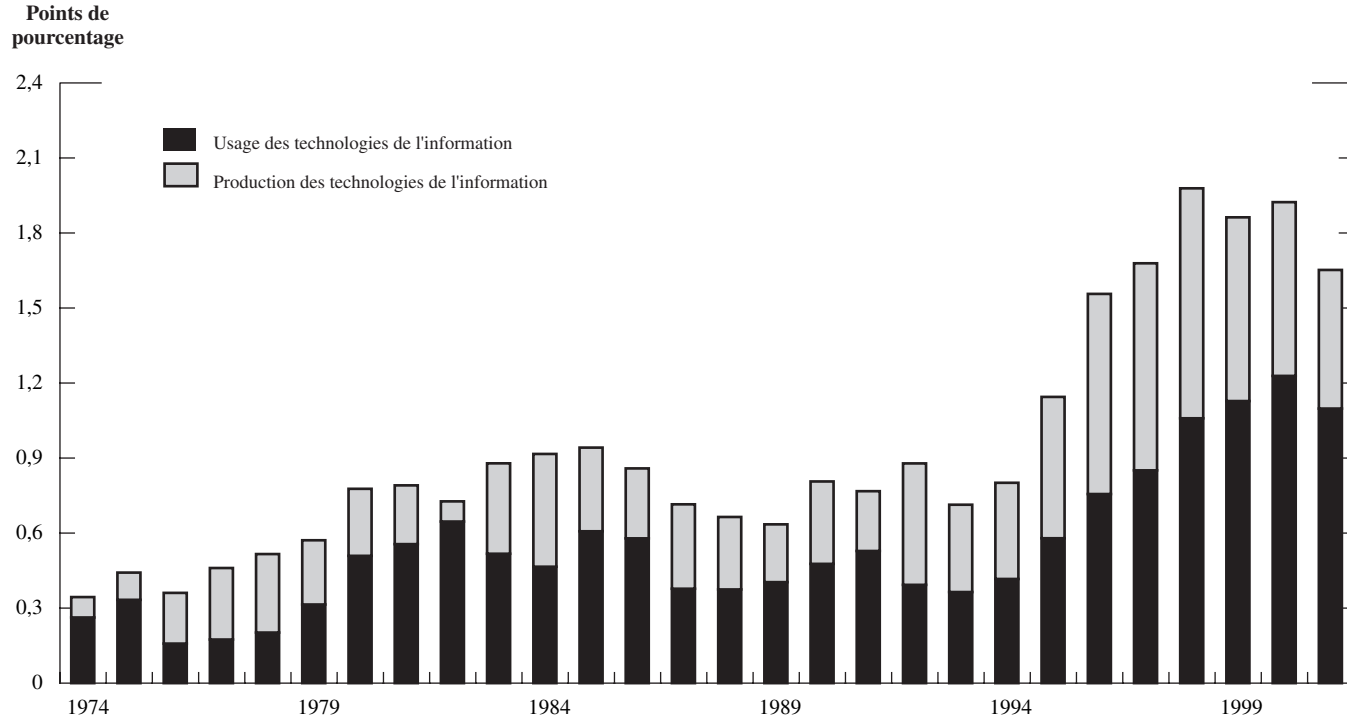
En regroupant les divers éléments des technologies de l'information (ligne 15), on constate qu'un *usage* plus intensif des technologies de l'information et que des gains d'efficacité accélérés dans leur *production* comptent pour plus de 0,89 point de pourcentage dans l'accélération de la croissance de la productivité du travail après 1995. Cette importante contribution est aussi visible au graphique 1; les barres foncées représentent la contribution annuelle de l'*emploi* des technologies de l'information et les barres claires, celle de leur *production*. Comme on peut le constater dans la figure, ces contributions ont bondi après 1995. Même après leur décélération de 2001, elles n'en sont pas moins demeurées, cette année-là, nettement supérieures à celles d'avant 1995. Avec de tels résultats, nous concluons que les données les plus récentes vont dans le même sens que nos principaux résultats antérieurs, notamment que la remontée de la productivité du travail est toujours nettement visible dans les données et que les technologies de l'information semblent avoir joué un rôle crucial dans cette augmentation.

11. Jorgenson et Stiroh (2000) ont fait remarquer que les prix des logiciels pourraient avoir effectivement diminué plus rapidement que ne le laissent voir les données officielles. La chose est possible, mais il faut réaliser que l'industrie du logiciel a toujours eu un caractère artisanal, avec ses professionnels hautement qualifiés qui écrivent du code ligne par ligne. Dans les années soixante et soixante-dix, plusieurs études ont tenté d'estimer le coût unitaire de développement des programmes. Phister (1979 : 502) en est arrivé à une diminution annuelle de 3,5 % du travail requis pour produire 1 000 lignes de code. Pour sa part, Zraket (1992) a soutenu, au début de la décennie quatre-vingt-dix, que le coût nominal par ligne de code n'avait que peu changé en 20 ans, ce qui correspond à une baisse de coût réel équivalente à celle rapportée par Phister. Évidemment, avec l'adoption subséquente des suites bureautiques, des permis d'utilisation et des solutions logicielles d'entreprise, il se peut que les prix effectifs des logiciels aient chuté. En définitive, nous estimons qu'il existe toujours une considérable marge d'incertitude dans la mesure des prix des logiciels.

Jorgenson et Stiroh (2000) ont également fait remarquer que les prix du matériel de communication pourraient avoir diminué plus rapidement que ce que laissent croire les statistiques officielles. Des recherches récentes de Doms (2002) viennent étayer cette idée.

GRAPHIQUE 1

CONTRIBUTION DE L'UTILISATION ET LA PRODUCTION DES TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION
À LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL DU SECTEUR DES ENTREPRISES HORS AGRICULTURE, 1974-2001



3.2 *Autres comparaisons avec nos travaux antérieurs*

Le tableau 2 compare nos derniers résultats avec d'autres plus anciens, rapportés dans Oliner et Sichel (2000a)¹². La première colonne du tableau donne les contributions de l'accélération de la croissance de la productivité du travail selon notre étude antérieure, la deuxième colonne montre les estimations jusqu'à la fin de 2000 obtenues avec les dernières données et la troisième reprend les contributions allant jusqu'à la fin de 2001 et qui ont déjà été présentées au tableau 1. En plus d'ajouter les données de 2000, la deuxième colonne diffère de la première du fait des nombreuses révisions qui ont été apportées aux données depuis l'obtention de nos premiers résultats¹³. Comme on peut le constater dans ces colonnes, l'ajout des données de 2000 et les révisions pour les années antérieures n'ont guère eu d'impact sur nos résultats. La contribution au redressement de la productivité, attribuable à l'intensification du capital dans le secteur logiciel, a augmenté, mais ce gain a été neutralisé par une contribution négative de la qualité du travail et un certain affaiblissement de la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle.

12. Pour permettre la comparaison avec nos anciens travaux, ce tableau ne détaille les contributions à la productivité multifactorielle que pour les secteurs des semi-conducteurs et du matériel informatique.

13. Les révisions les plus importantes survenues depuis que nous avons terminé les travaux relatés dans Oliner et Sichel (2000a) ont été les deux révisions annuelles dans les *NIPA*, publiées par le BEA – dont les données du BLS sur la productivité multifactorielle tiennent compte – et l'inclusion des estimations officielles des stocks de capital dans le secteur logiciel. (Dans nos précédents travaux, nous avons utilisé nos propres estimations des stocks de capital dans le logiciel.) De plus, nous avons apporté de légères modifications à nos procédures d'estimation, mais leurs répercussions sont relativement minimes.

TABLEAU 2

ACCÉLÉRATION DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL ENTRE 1991-1995 ET
LA PÉRIODE APRÈS 1995, EFFET DES NOUVELLES DONNÉES ET DES RÉVISIONS

	Article <i>JEP</i> jusqu'en 1999	Cet article jusqu'en 2000	Cet article jusqu'en 2001
1. Accélération de la productivité du travail ¹	1,04	1,00	0,89
Contributions de ²			
2. Intensification capitalistique	0,48	0,57	0,67
3. Capital de TI	0,45	0,54	0,56
4. Matériel informatique	0,36	0,36	0,35
5. Logiciels	0,04	0,13	0,14
6. Matériel de communication	0,05	0,07	0,08
7. Autre capital	0,03	0,02	0,11
8. Qualité du travail	-0,13	-0,20	-0,20
9. Productivité multifactorielle	0,68	0,62	0,41
10. Semi-conducteurs	0,27	0,30	0,29
11. Matériel informatique	0,10	0,06	0,06
12. Autres secteurs ³	0,31	0,26	0,06

NOTE : À cause des arrondis, la somme des ventilations peut ne pas évaluer exactement le total.

1. Dans le secteur des entreprises non agricoles. Mesurée en points de pourcentage par année.

2. Points de pourcentage par année.

3. Incluant les constructeurs de matériel de communication et les concepteurs de logiciels.

SOURCE : Calculs des auteurs, à partir des données du BEA et du BLS.

Prolonger notre étude sur la période allant jusqu'à la fin de 2001, une année de récession, modère l'accroissement de la productivité du travail (ligne 1), comme on pouvait d'ailleurs s'y attendre vu la nature procyclique des gains de productivité. Par contre, la ligne 2 indique que la contribution à la croissance découlant de l'intensification du capital *augmente* lorsqu'on inclut les données de 2001. Cette forte contribution implicite de 2001 peut sembler bizarre compte tenu du repli des investissements lors de la récession. Mais, on doit se rappeler que l'intensification du capital reflète le ratio services du capital / heures travaillées. Les heures ont diminué en 2001, ce qui fait augmenter le ratio capital / heures travaillées – toutes choses étant égales par ailleurs. Notez également que notre analyse des sources de la croissance est effectuée sur des moyennes annuelles. Malgré le fléchissement des investissements en 2001, les moyennes annuelles viennent lisser ce déclin, comparativement aux variations observées à chaque trimestre de l'année. Parallèlement, la pondération de Tornquist vient retarder les effets des fluctuations avec son recours à la moyenne des parts du revenu du capital, calculée sur une année et l'année précédente, comme pondération d'agrégation pour les contributions de l'intensification du capital. Ainsi, une partie des effets de la récession sur les profits des sociétés (et par conséquent, sur les parts du revenu du capital) ne sera ressentie dans nos estimations qu'en 2002. Et effectivement, un calcul sommaire laisse prévoir un reflux de la contribution de l'intensification du capital en 2002¹⁴.

En définitive, l'introduction des données de 2001 provoque une baisse appréciable de la contribution de la productivité multifactorielle sectorielle à la croissance de la productivité du travail pour la période après 1995 (ligne 9). Pratiquement tout l'effet se retrouve dans l'important secteur résiduel, qui comprend toutes les entreprises non agricoles, à l'exception des industries des ordinateurs et des semi-conducteurs (ligne 12).

Certains observateurs pourraient objecter que la très faible accélération de la productivité multifactorielle sectorielle hors des secteurs produisant des technologies de l'information indique soit que les gains de productivité se sont avérés extrêmement ponctuels, soit qu'ils ont été perdus au cours de la dernière année. Toutefois, nous avons tendance à rejeter une telle interprétation et ce, pour deux raisons. Premièrement, l'*emploi* des technologies de l'information dans toutes les branches de l'économie a contribué d'une manière significative au regain de la croissance de la productivité du travail, indépendamment du développement des industries produisant les technologies de l'information. Deuxièmement, l'accélération considérablement amoindrie de la productivité multifactorielle sectorielle

14. Pour ce faire, nous avons estimé l'intensification du capital pour 2002 avec l'hypothèse selon laquelle le taux de croissance des investissements réels dans du matériel de haute technologie retombe à sa robuste cadence moyenne de 1996-2000 et que la moyenne annuelle des heures diminue de presque 1 % en 2002, comme prévu dans l'*Economic Outlook* du *Macro Advisers* de janvier. Avec cette hypothèse optimiste sur l'investissement et une piètre tenue des heures travaillées, la contribution de l'intensification du capital à la croissance de la productivité du travail en 2002 serait certes inférieure à celle de 2001, mais demeurerait tout de même nettement au-dessus de celle qu'on enregistrait avant 1995.

dans les autres industries est vraisemblablement attribuable à des facteurs cycliques¹⁵. La quantification de ces influences cycliques constitue un défi en soi, et nous croyons que la tendance ne peut se déduire du taux de croissance moyen pour la période de 1995 à 2001. La première année de cette période, 1995, se situait en plein milieu du cycle, alors que la dernière année, 2001, fut une année de récession¹⁶. Aussi, prendre une moyenne sur la période 1995-2001 revient à tracer une ligne entre un point à mi-cycle et un autre au creux du cycle. Une telle droite sous-estimerait la tendance sous-jacente.

4. LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL À L'ÉTAT STATIONNAIRE

Jusqu'à quel point la résurgence de la productivité du travail survenue dans la deuxième moitié des années quatre-vingt-dix peut-elle se maintenir? Pour répondre à cette question, nous utiliserons le dispositif de l'état stationnaire décrit à la première section, qui nous permettra de déterminer une fourchette vraisemblable pour la croissance future de la productivité du travail. Nous ne considérerons pas ces résultats de régime permanent comme de véritables prévisions de croissance de la productivité pour une période particulière. Cet exercice nous donnera plutôt des « conjectures articulées » concernant la croissance de la productivité du travail susceptible de se maintenir dans l'éventualité de certains scénarios évolutifs pour des facteurs économiques clés.

Afin d'obtenir cette fourchette de résultats probables, nous fixons des limites inférieures et supérieures aux paramètres de l'état stationnaire, puis nous solutionnons les équations pour le taux de croissance de la productivité du travail. Si nous croyons que ces scénarios couvrent les sentiers ultérieurs les plus probables, il n'en reste pas moins que beaucoup d'incertitudes planent sur l'avenir de la productivité. Conséquemment, et nous ne manquerons pas de la souligner, il se pourrait que le rythme durable de croissance de la productivité du travail sorte de la fourchette que nous considérons comme la plus probable. Le reste de la présente section examinera les valeurs que nous retiendrons comme paramètres de limites inférieure et supérieure, exposera nos résultats de l'état stationnaire, avant de les comparer à ceux qui ont été obtenus par d'autres chercheurs.

15. Même si la productivité multifactorielle sectorielle est souvent associée aux changements technologiques, des mouvements à court terme de la productivité multifactorielle sectorielle peuvent être fortement influencés par des facteurs cycliques indépendants des améliorations technologiques. Pour un examen plus en profondeur de cette question, voir Basu, Fernald et Shapiro (2001).

16. Déduire la tendance à partir du taux de croissance moyen observé entre 1995 et 2000 pose également problème, car cette moyenne couvrirait une période allant du milieu du cycle jusqu'à son point culminant. Par contre, prendre comme début de la période au sommet précédent de 1990 n'est pas intéressant non plus, parce que nous nous intéressons à l'évolution de la productivité à partir du milieu des années quatre-vingt-dix.

4.1 La valeur des paramètres

Le tableau 3 dresse la liste des nombreux paramètres que nous utiliserons dans notre modèle de régime permanent. Pour pouvoir remettre les choses dans leur contexte, les trois premières colonnes du tableau donnent les valeurs de chacun des paramètres pendant les périodes 1974-1990, 1991-1995 et 1996-2001. Les deux colonnes suivantes présentent les valeurs limites, inférieure et supérieure, que nous assignons à chaque paramètre, et la dernière colonne explique brièvement les justifications de ces valeurs de régime permanent¹⁷.

Les lignes 1-15 du tableau donnent les paramètres nécessaires pour calculer la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle globale et sectorielle en régime permanent. Parmi ces paramètres, on retrouve la part de la production des entreprises non agricoles dans chaque secteur en dollars constants (les μ), les dépenses pour des semi-conducteurs en proportion des coûts de tous les intrants dans chaque secteur produisant des biens finals (les β), le taux d'inflation des prix à la production dans chaque secteur comparativement à celui du secteur « autre production finale » (les π) et la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle dans ce dernier secteur (PMF_{ϕ}).

Si les limites fixées pour certains de ces paramètres ne requièrent guère d'explications allant au-delà de la brève justification fournie dans le tableau, d'autres, en revanche, en demandent davantage¹⁸. Partant des parts de production, nous calibrons les limites de régime permanent avec le graphique 2. Les traits courts de chaque graphique représentent les limites, que l'on peut d'ailleurs comparer avec les antécédents historiques de chaque série. Du côté du matériel informatique et de communication, la part de la production (en dollars courants) n'a fluctué qu'à l'intérieur d'une étroite fourchette depuis le milieu des années quatre-vingt. Nos limites de régime permanent recouvrent largement ces fluctuations. Dans le cas des producteurs de logiciels et de semi-conducteurs, les parts de la production (toujours en dollars courants) ont suivi une forte tendance à la hausse et nos limites sont assez larges pour permettre une certaine hausse supplémentaire par rapport aux moyennes des dernières années¹⁹.

17. Remarquez que la limite supérieure de chaque paramètre donne un taux de croissance de la productivité plus élevé que les limites inférieures. Toutefois, pour certains paramètres, notamment les prix relatifs, la valeur de la limite supérieure est numériquement plus faible que la limite inférieure.

18. Dans un exercice analogue, Kiley (2001), Martin (2001) et DeLong (2002), partent de l'élasticité de la demande pour les produits de haute technologie pour en arriver à des parts de production et de revenu. Quant à nous, nous formulons directement des hypothèses concernant les parts de production et d'autres paramètres clés. Étant donné la pauvreté relative des connaissances concernant l'élasticité de la demande de produits de haute technologie, nous préférons la transparence offerte par la fixation directe des parts de production et d'autres paramètres d'après leurs profils historiques.

19. En 2001, la part de la production du secteur des semi-conducteurs a dégringolé jusqu'à un niveau inconnu depuis 1994, à cause de réductions dans des draconiennes dépenses pour du matériel de haute technologie pendant la récession. En fixant les limites de régime permanent, nous avons supposé que ce mouvement baissier se retournera après la récession.

TABLEAU 3

VALEURS DES PARAMÈTRES DANS LES CALCULS DE RÉGIME STATIONNAIRE

PARAMÈTRES	MOYENNES HISTORIQUES			VALEURS EN RÉGIME STATIONNAIRE		Méthode pour déterminer les valeurs en régime stationnaire
	1974-1990	1991-1995	1996-2001	Limite inférieure	Limite supérieure	
Parts du revenu¹ (μ)						
1. Matériel informatique	1,06	1,19	1,32	1,10	1,40	Voir graphique 2.
2. Logiciels	0,84	1,79	2,70	3,10	3,60	Voir graphique 2.
3. Matériel de communication	1,80	1,68	1,83	1,60	2,00	Voir graphique 2.
4. Autres secteurs de produits finals	96,33	95,45	94,14	94,20	93,00	Découle des lignes 1-3 et 5.
5. Exportations nettes de semi-conducteurs	-0,04	-0,11	0,00	0,00	0,00	Moyenne 1996-2001.
6. Production totale de semi-conducteurs	0,30	0,58	0,91	1,00	1,20	Voir graphique 2.
Parts des coûts : semi-conducteurs¹ (β)						
7. Matériel informatique	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	Valeur supposée constante.
8. Logiciels	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Valeur supposée constante.
9. Matériel de communication	1,17	4,59	8,88	13,00	16,00	Voir graphique 3.
10. Autres secteurs de produits finals	0,00	0,27	0,37	0,46	0,46	Découle des lignes 1-4, 6-9 et 36.

TABLEAU 3 (suite)

PARAMÈTRES	MOYENNES HISTORIQUES			VALEURS EN RÉGIME STATIONNAIRE		Méthode pour déterminer les valeurs en régime stationnaire
	1974-1990	1991-1995	1996-2001	Limite inférieure	Limite supérieure	
Taux d'inflation comparatifs² (π)						
11. Semi-conducteurs	-28,90	-21,75	-44,71	-31,01	-37,86	\Rightarrow La limite inférieure est la moyenne 1974-2001; la limite supérieure est à mi-chemin entre cette valeur et la baisse historique la plus rapide.
12. Matériel informatique	-19,29	-17,79	-27,15	-20,71	-23,93	
13. Logiciels	-4,13	-4,83	-3,90	-4,21	-4,52	
14. Matériel de communication	-2,44	-4,06	-5,80	-6,00	-7,75	Calibré de façon à maintenir la croissance de la MFP près de son rythme de 1996-2001
15. Croissance de la MFP ³ (o)	0,11	0,17	0,23	0,11	0,23	Fourchette historique.
16. Rendement nominal du capital ³ (R)	7,88	4,29	4,55	4,55	4,55	Moyenne 1996-2001.
Taux de dépréciation³ (δ)						
17. Matériel informatique	29,74	30,11	30,30	30,30	30,30	Moyenne 1996-2001.
18. Logiciels	34,87	37,04	38,46	38,46	38,46	Moyenne 1996-2001.
19. Matériel de communication	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	Moyenne 1996-2001.
20. Autres immobilisations des entreprises	5,87	6,08	6,10	6,10	6,10	Moyenne 1996-2001.

TABLEAU 3 (suite)

PARAMÈTRES	MOYENNES HISTORIQUES			VALEURS EN RÉGIME STATIONNAIRE		Méthode pour déterminer les valeurs en régime stationnaire
	1974-1990	1991-1995	1996-2001	Limite inférieure	Limite supérieure	
Gain/perte en capital prévu⁴ (II)						
21. Matériel informatique	-12,70	-11,79	-23,21	-17,50	-20,36	Voir note 5.
22. Logiciels	3,27	-0,56	-,31	-0,44	-0,50	Voir note 5.
23. Matériel de communication	3,65	-0,07	-3,01	-4,00	-5,75	Voir note 6.
24. Autres immobilisations des entreprises	6,31	2,52	2,55	2,54	2,53	Voir note 5.
Ratios capital/production ($Tp_K K / pY$)						
25. Matériel informatique	0,0192	0,0293	0,0294	0,0300	0,0360	Voir graphique 4.
26. Logiciels	0,0191	0,0440	0,0618	0,0800	0,0900	Voir graphique 4.
27. Matériel de communication	0,0876	0,1087	0,0951	0,0875	0,1025	Voir graphique 4.
28. Autres immobilisations des entreprises	2,4227	2,2648	2,1008	1,9000	2,0500	Voir graphique 4.
Parts de revenu¹ (α)						
29. Matériel informatique	0,92	1,34	1,71	1,57	1,99	Implicite. Voir graphique 5.
30. Logiciels	0,75	1,85	2,67	3,48	3,92	Implicite. Voir graphique 5.
31. Matériel de communication	1,48	1,88	1,96	1,89	2,39	Implicite. Voir graphique 5.
32. Autres immobilisations des entreprises	18,00	17,78	17,04	15,42	16,65	Implicite. Voir graphique 5.
33. Autre capital ⁷	9,81	8,90	8,93	8,93	8,93	Moyenne 1996-2001.
34. Travail	69,04	68,25	67,69	68,72	66,13	Découle des lignes 29-33.

TABLEAU 3 (suite)

PARAMÈTRES	MOYENNES HISTORIQUES			VALEURS EN RÉGIME STATIONNAIRE		Méthode pour déterminer les valeurs en régime stationnaire
	1974-1990	1991-1995	1996-2001	Limite inférieure	Limite supérieure	
Autres paramètres						
35. Croissance de la qualité du travail ³ (<i>q</i>)	0,32	0,65	0,38	0,30	0,30	Ralentissement supposé de la croissance.
36. Ratio production / usage intérieur des semi-conducteurs ($1 + \theta$)	0,89	0,86	1,03	1,03	1,03	Moyenne 1996-2001.

NOTE : 1. Parts en dollars courants, converties en pourcentage.

2. Inflation des prix à la production dans chaque secteur, moins celle de l'« autre secteur de biens finals », en points de pourcentage.

3. En pourcentage.

4. Moyenne mobile sur 3 ans de l'inflation des prix pour chaque catégorie d'actif, en pourcentage.

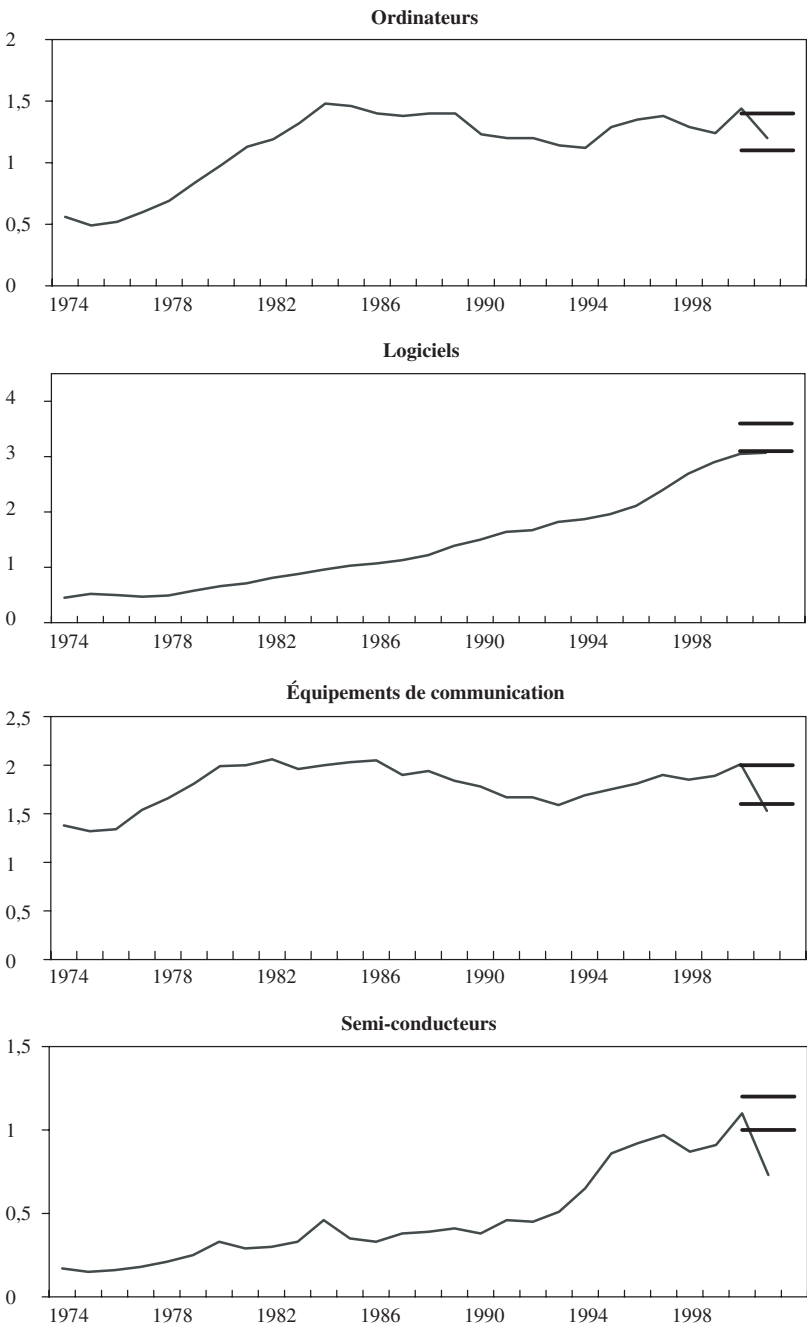
5. La limite inférieure est la moyenne pour 1991-2001; la limite supérieure se trouve à mi-chemin entre cette valeur et la plus petite de celles de 1991-1995 et de 1996-2001.

6. Les limites inférieures et supérieures sont égales aux valeurs correspondantes des taux d'inflation comparatifs dans le matériel de communication (ligne 14), plus 2 % – le taux d'inflation supposé de l'« autre secteur de production finale ».

7. Incluant les terrains, les stocks et les logements en location.

GRAPHIQUE 2

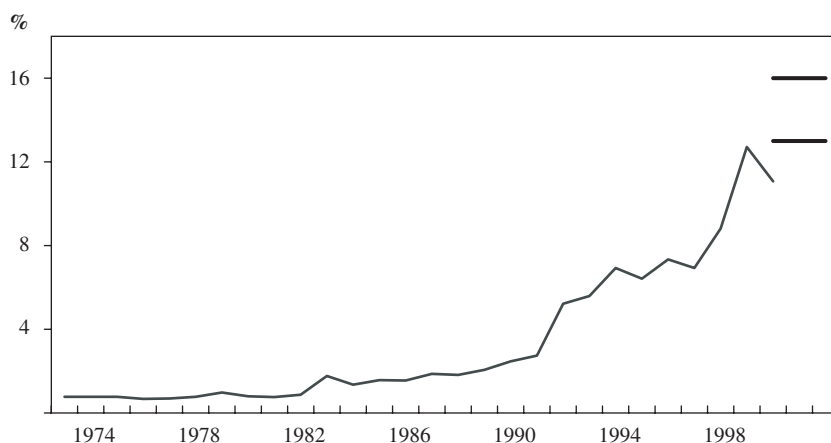
PART DE LA PRODUCTION EN PRIX COURANTS (%)



Parmi les parts de coût des semi-conducteurs (les β), nous avons fixé la part des ordinateurs à 0,30, ce qui correspond au milieu de la fourchette utilisée par Triplett (1996). Pour les logiciels, nous l'avons fixé à 0. La part pour le matériel de communication est donnée dans le graphique 3; elle a sensiblement augmenté depuis le début des années quatre-vingt-dix, à la faveur de l'usage croissant des technologies de type ordinateur dans le matériel de communication. Nous avons établi les limites de régime permanent en supposant que cette tendance allait se maintenir.

GRAPHIQUE 3

PART DES SEMI-CONDUCTEURS EN TERMES DE COÛT
DANS L'ÉQUIPEMENT DE COMMUNICATION (%)



L'usage accru des semi-conducteurs dans le matériel de communication laisse entrevoir que les prix relatifs de ces dispositifs vont dégringoler à une allure beaucoup plus vive que par le passé. Nous avons donc incorporé cette prédiction dans les limites de l'état stationnaire pour π_M , comme on peut le constater à la ligne 14. Ces valeurs ont été choisies pour garantir que le taux de croissance implicite de la productivité multifactorielle sectorielle pour le secteur, obtenu par l'approche duale, reste dans le voisinage de la cadence moyenne observée en 1996-2001.

Ce facteur ne joue pas pour les autres secteurs de production finale, puisqu'on suppose que la part des coûts des semi-conducteurs n'y changera guère à l'avenir. Pour ces secteurs (lignes 11-13), nous arrêtons des limites de variation des prix relatifs (les Π) en nous basant sur les antécédents historiques. La limite inférieure pour chaque secteur est égale au taux de changement moyen des prix relatifs pendant la période 1974-2001, tandis que la limite supérieure se trouve à mi-chemin entre cette même moyenne et le plus fort taux de baisse des prix relatifs enregistré pendant les trois sous-périodes. Ainsi, nous ne supposons pas que la baisse des

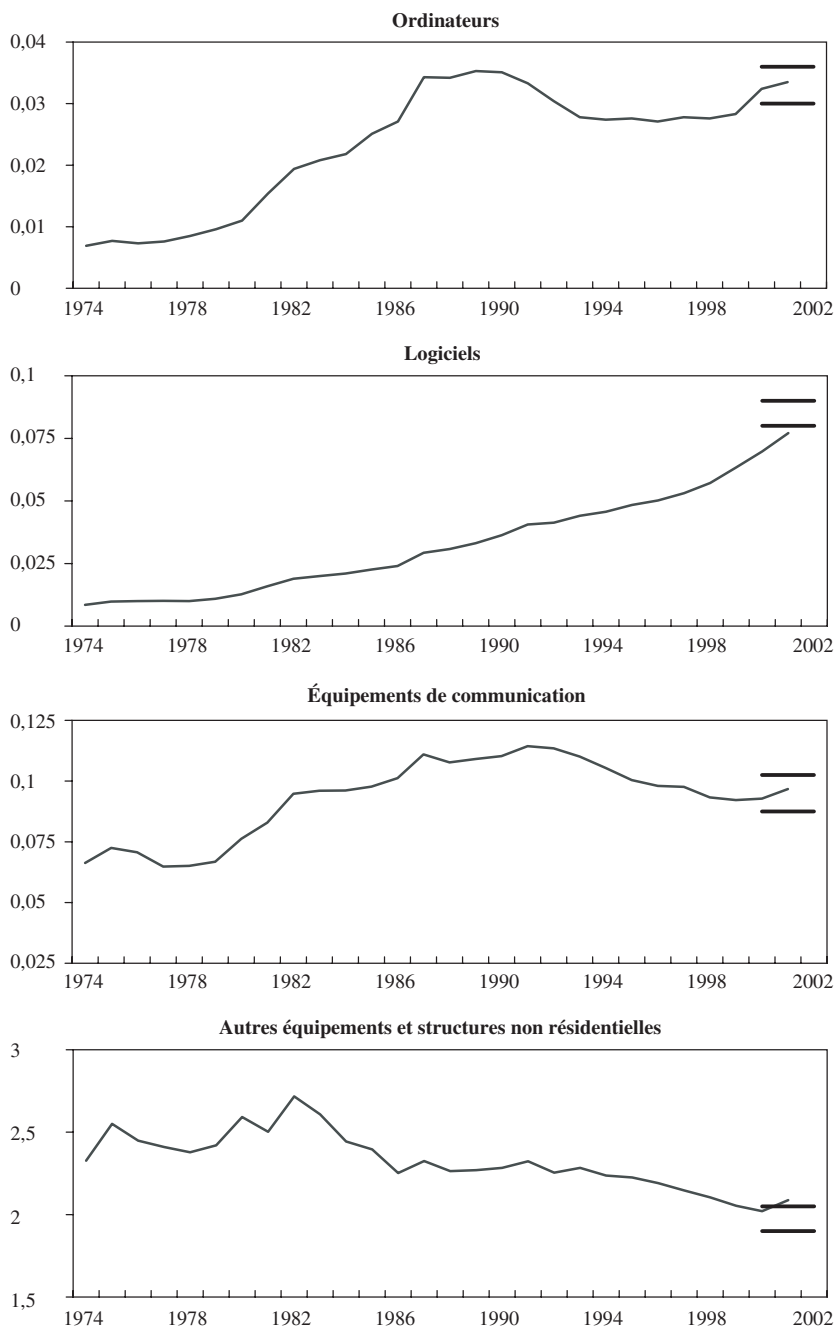
prix – extrêmement rapide pendant la période 1996-2001 – des ordinateurs et des semi-conducteurs se maintienne en régime permanent et ce, même avec notre scénario le plus optimiste.

Les lignes 16-28 du tableau détaillent les composantes des parts de revenu du capital. Pour choisir le taux de rendement nominal du capital et le taux de dépréciation spécifique à chaque actif, nous effectuons tout simplement des projections à partir des valeurs moyennes de la période 1996-2001. Ces paramètres n'ont que très peu varié entre la première et la seconde moitié des années quatre-vingt-dix; de plus, le considérable rendement nominal du capital de 1974-1990, qui a été gonflé par la forte inflation de l'époque, n'est certainement pas une valeur appropriée pour la période actuelle, caractérisée par un faible taux d'inflation. Pour ce qui est de l'élément suivant, le gain (ou la perte) en capital prévu, nous avons fixé les limites de régime permanent essentiellement de la même manière que nous l'avons fait pour l'inflation relative. Pour tous les types de capital autres que le matériel de communication, nous avons déterminé des limites en nous référant aux données chronologiques, en nous arrêtant cependant à 1991 afin d'éviter l'influence des taux d'inflation élevés qui ont prévalu en 1974-1990. Les limites pour le matériel de communication ont été établies d'après celles du déclin des prix relatifs de la ligne 14, plus deux points de pourcentage. Cet ajout pour l'inflation présumée dans « l'autre secteur de biens finals » transforme effectivement la variation relative des prix en variation absolue.

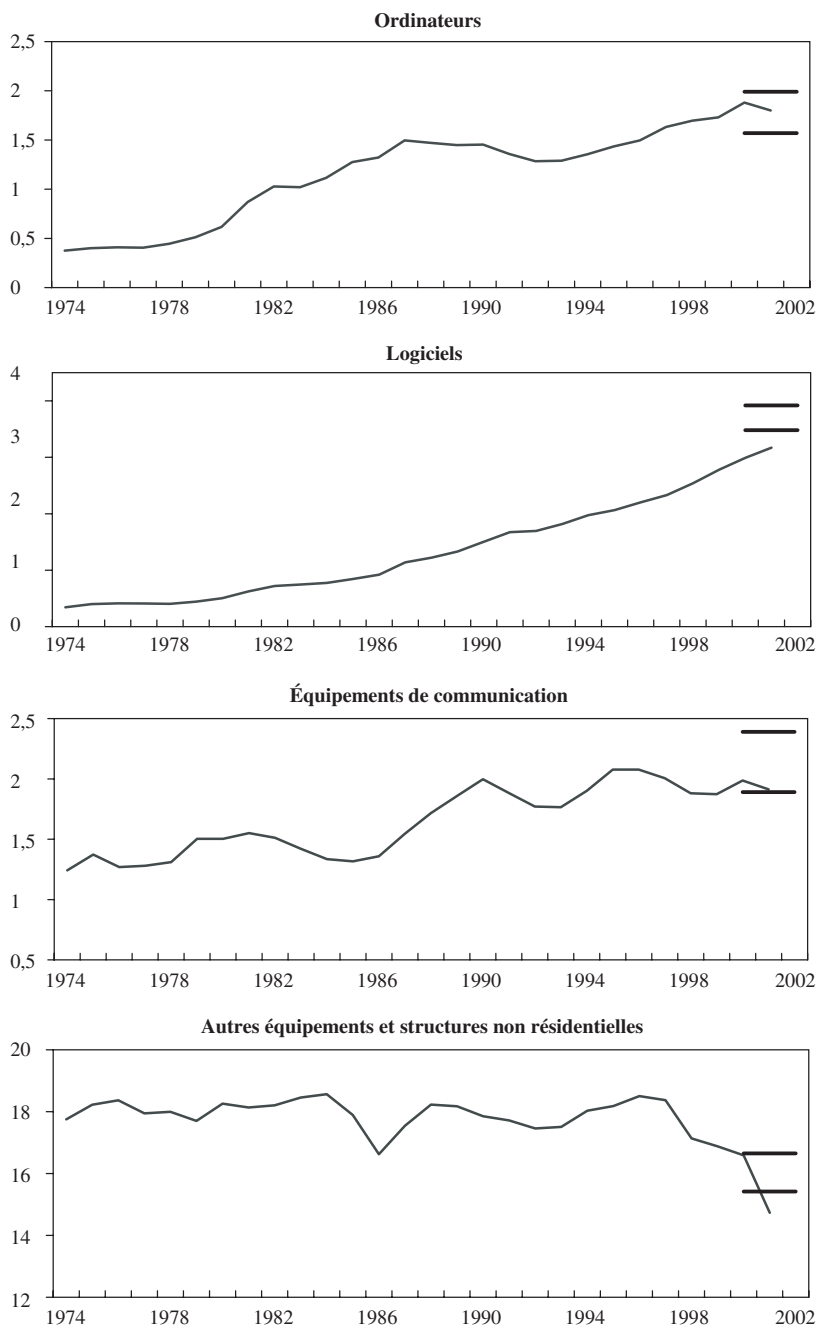
Le dernier élément de la répartition du revenu est le ratio capital / production (corrigé pour tenir compte des impôts), obtenu à partir des valeurs exprimées en dollars courants ($Tp_K K / pY$). Le graphique 4 donne ce ratio jusqu'en 1974 pour les quatre types de capital. Dans le cas du matériel informatique et de communication, où le ratio capital / production ne suit pas, ces derniers temps, une tendance bien définie, nous avons fixé les limites de façon à maintenir le ratio dans sa fourchette des dernières années. Par contre, pour le capital des logiciels et autres, nous avons fixé des limites permettant une poursuite des tendances de long terme. Le graphique 5 montre les limites qui en résultent pour les parts de revenu du capital, de même que les séries chronologiques de ces parts. La seule série de données pour laquelle nous devons formuler des commentaires est celle décrivant la part des autres équipements et des structures non résidentielles, dont la valeur a chuté en 2001 – la baisse des profits des sociétés, occasionnée par la récession, ayant déprimé le rendement nominal du capital (R)²⁰. Les limites de régime permanent pour cette part de revenu nécessitent, à tout le moins, un redressement partiel du mouvement cyclique à la baisse.

20. La chute de R a beaucoup plus de répercussions sur la part de revenu de ce grand agrégat du capital que sur les parts de revenu dévolues aux ordinateurs, aux logiciels ou au matériel de communication. Pour ces actifs de haute technologie, le taux élevé de dépréciation est le facteur critique pour le rendement brut, surpassant les fluctuations, même considérables, de R .

GRAPHIQUE 4
RATIO CAPITAL-TRAVAIL EN PRIX COURANTS



GRAPHIQUE 5
PART DE REVENU EN PRIX COURANTS (%)



Le dernier paramètre à remarquer est la croissance de la qualité du travail (ligne 35). Nous supposons que la qualité du travail augmentera de 0,30 % par année à l'état stationnaire, ce qui est passablement moins que son avancée annuelle moyenne depuis 1959. Jorgenson, Ho et Stiroh (2002) entrevoient un ralentissement à peu près équivalent de l'amélioration de la qualité du travail, tandis qu'Aaronson et Sullivan (2001) s'attendent à un recul légèrement plus important de ce dernier paramètre.

4.2 Résultats

Le tableau 4 expose nos « conjectures articulées » concernant la croissance de la productivité du travail à l'état stationnaire, à l'aide des limites inférieures et supérieures des valeurs des paramètres²¹. Comme on peut le constater à la ligne 1, la limite inférieure des paramètres donne une croissance de la productivité du travail à l'état stationnaire d'environ 2 %, tandis que la limite supérieure correspond à une croissance légèrement supérieure à 2 ¾ %²². Cette fourchette, qui est nettement supérieure à la lente cadence enregistrée entre le début des années soixante-dix et la deuxième moitié des années quatre-vingt-dix, est de bon augure pour l'avenir.

21. Comme nous l'avons fait remarquer à la première section, notre modèle ne prend pas explicitement en compte les coûts d'ajustement. Néanmoins, nous reconnaissons que de tels coûts puissent avoir d'importantes répercussions sur la croissance de la productivité du travail, comme le soulignent Kiley (2001) et Basu, Fernald et Shapiro (2001). Mais, nos estimations de l'état stationnaire sur la croissance de la productivité du travail incorporent implicitement la moyenne historique des coûts d'ajustement. Autrement dit, si les coûts d'ajustement avaient, en moyenne, réduit la croissance de la productivité du travail par le passé, notre cadre d'analyse des sources de la croissance aurait pris en compte ce phénomène dans le terme résiduel – qui n'est autre que la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle dans l'« autre secteur de production finale ». Puisque nos estimations à l'état stationnaire sont tributaires de la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle dans cette catégorie résiduelle, la moyenne historique des coûts d'ajustement se retrouve implicitement incluse dans ces estimations.

22. Il est rassurant de constater que les résultats du modèle de régime permanent appliqué aux périodes antérieures correspondent d'assez près à la croissance de la productivité effectivement observée. Plus spécifiquement, en insérant les paramètres historiques moyens figurant au tableau 3 dans notre modèle de l'état stationnaire, nous obtenons un taux de croissance moyen de la productivité du travail de 1,57 % pour la période 1974-2001, ce qui est très proche de la valeur observée de 1,62 %.

TABLEAU 4
RÉSULTATS EN RÉGIME STATIONNAIRE

Paramètres	Avec les paramètres de la limite inférieure	Avec les paramètres de la limite supérieure
1. Croissance de la productivité du travail ¹	1,98	2,84
Contributions de ²		
2. Intensification capitalistique induite	0,97	1,47
3. Capital de TI	0,88	1,31
4. Autre capital	0,09	0,16
5. Qualité du travail	0,30	0,30
6. Productivité multifactorielle	0,72	1,07
7. Contribution totale des TI ³	1,50	2,17

NOTE : TI signifie technologies de l'information. À cause des arrondis, la somme des ventilations peut ne pas égaliser exactement le total.

1. Dans le secteur des entreprises non agricoles; mesurée en pourcentage.

2. En points de pourcentage par année.

3. Est égale à la ligne 3 plus les contributions incluses à la ligne 6 et attribuables aux producteurs de matériel informatique, de logiciels, de matériel de communication et de semi-conducteurs.

Pour avoir une idée intuitive de la fourchette correspondant à l'état stationnaire, notez que la limite inférieure, qui se situe dans les alentours de 2 %, correspond à environ un demi-point de pourcentage de moins que la croissance de la productivité du travail enregistrée en 1996-2001. Ce ralentissement provient du fait que nous supposons que le taux de baisse des prix des semi-conducteurs et des ordinateurs revient à sa moyenne historique de long terme, après une importante accélération dans la deuxième moitié des années quatre-vingt-dix. Ces hypothèses occasionnent une décélération marquée de la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle dans le secteur des semi-conducteurs et, dans une moindre mesure, dans le secteur des ordinateurs. Néanmoins, la croissance de la productivité du travail dans l'ensemble des entreprises non agricoles est demeuré au-dessus de sa moyenne de 1974-1995 parce que les secteurs des technologies de l'information constituent, dans leur ensemble, une portion plus importante de l'activité économique qu'auparavant.

À environ 2,8 %, la limite supérieure de régime permanent surpasse de près d'un demi-point de pourcentage la cadence de 1996-2001. Le modèle en arrive à

ce gain malgré la baisse des prix des semi-conducteurs et des ordinateurs en régime stationnaire (d'où les taux de croissance de la productivité multifactorielle sectorielle), baisse que l'on suppose moins rapide que lors de la deuxième moitié de la décennie quatre-vingt-dix. Le facteur compensateur provient du fait que le secteur des semi-conducteurs et les autres secteurs des technologies de l'information ont pris plus d'importance au sein de l'économie que dans la deuxième moitié des années quatre-vingt-dix. Le poids accru de ces secteurs où la croissance de la productivité multifactorielle sectorielle est relativement élevée fait plus que compenser le fléchissement des prix des semi-conducteurs et des ordinateurs.

Les autres lignes du tableau 4 décomposent la croissance en régime stationnaire de la productivité du travail en intensification du capital induite et en croissance de la productivité multifactorielle sectorielle. Ces chiffres soulignent l'importance des technologies de l'information pour la croissance ultérieure de la productivité du travail. Plus spécifiquement, la comparaison des lignes 2 et 3 indique clairement que l'intensification du capital en régime stationnaire est fortement biaisée en faveur du capital des technologies de l'information, aussi bien avec le scénario de la limite inférieure qu'avec celui de la limite supérieure – comme c'était d'ailleurs le cas dans la deuxième moitié des années quatre-vingt-dix. Plus généralement et comme on peut le constater à la ligne 7, la contribution combinée de l'*usage* et de la *production* des technologies de l'information est responsable d'environ les trois quarts de toute la croissance de la productivité du travail, aussi bien avec le scénario de la limite inférieure qu'avec celui de la limite supérieure.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, notre intention consiste à déterminer une fourchette *vraisemblable* pour la croissance de la productivité du travail à l'état stationnaire plutôt qu'à circonscrire précisément tous les résultats possibles. Ainsi, le modèle de l'état stationnaire peut prédire une croissance de la productivité du travail dépassant les 3 % par année en supposant que les prix des semi-conducteurs et des ordinateurs continuent à baisser au même rythme qu'en 1996-2001 et que la part des semi-conducteurs dans la production augmente à la cadence observée entre la première et la deuxième moitié de la décennie quatre-vingt-dix. Inversement, nous pouvons obtenir une croissance de la productivité du travail se situant entre 1,5 % et 1,75 % par année si nous supposons que les baisses de prix des semi-conducteurs et des ordinateurs en reviennent à leur moyenne historique et que les parts de production des semi-conducteurs et des ordinateurs retournent à leurs niveaux de la première moitié des années quatre-vingt-dix. En définitive, si nous avons confiance dans notre intervalle de 2 % à 2,75 % pour la croissance de la productivité du travail en régime stationnaire, nous sommes bien conscients de l'incertitude qui entoure l'exercice auquel nous nous sommes livrés.

4.3 Comparaison avec d'autres recherches

Le tableau 5 compare les résultats de l'état stationnaire présentés dans le présent article à ceux obtenus par d'autres chercheurs. Il faut retenir deux choses de

ce tableau. Premièrement, l'éventail des estimations est fort étendu, allant d'environ 1,25 % à 3,25 %, ce qui souligne l'incertitude concernant le futur sentier de croissance de la productivité. Deuxièmement, malgré la grande marge d'incertitude, la plupart des estimations ponctuelles (ou des points centraux des intervalles) se situent à l'intérieur de notre fourchette de 2 % à 2,75 % par année. Somme toute, les chercheurs croient généralement que la croissance de la productivité devrait demeurer relativement forte à l'avenir.

TABLEAU 5

AUTRES ESTIMATIONS DE LA CROISSANCE DE LA PRODUCTIVITÉ DU TRAVAIL
EN RÉGIME STATIONNAIRE
(EN POURCENTAGE PAR ANNÉE)

	Estimation ponctuelle	Fourchette
1. Le présent article		2,0 à 2,8
2. Jorgenson, Ho, et Stiroh (2002) ¹	2,25	1,3 à 3,0
3. Congressional Budget Office (2002) ²	2,2	
4. <i>Economic Report of the President</i> (2002) ³	2,1	
5. Baily (2002)		2,0 à 2,5
6. Gordon ⁴		2,0 à 2,2
7. Kiley (2001)		2,6 à 3,2
8. Martin (2001) ⁵	2,75	2,5 à 3,0
9. McKinsey (2001) ⁶	≈ 2,0	1,6 à 2,5
10. Roberts ⁷	2,6	
11. DeLong (2002)	«... cadence comparable à celle de la fin des années quatre-vingt-dix »	

NOTE : 1. Jorgenson, Ho et Stiroh mesurent la croissance de la productivité pour une portion plus importante de l'économie que les autres articles. Pour pouvoir comparer leurs résultats avec ceux des autres études, il faut ajouter 0,15 point de pourcentage à leur estimation ponctuelle et à leur fourchette.

2. Tableaux 2-5.

3. Tableaux 1-2, p. 55.

4. Basé sur une communication personnelle avec Robert Gordon, le 24 mars 2002.

5. Dans une communication personnelle datée du 23 mars 2002, Bill Martin révélait que ses prochaines estimations seraient légèrement plus basses que celles de Martin (2001).

6. Chapitre 3, graphique 13.

7. Mise à jour non publiée de Roberts (2001).

CONCLUSION

Les récents débats concernant la reprise de la croissance de la productivité aux États-Unis ont principalement porté sur deux questions. Premièrement, les recherches antérieures qui soulignaient le rôle crucial des technologies de l'information restent-elles d'actualité, face à la forte contraction du secteur de la technologie? Deuxièmement, quelle proportion de la croissance de la productivité du travail enregistrée depuis le milieu de la décennie quatre-vingt-dix peut-on raisonnablement espérer voir se maintenir? Le présent article a essayé de répondre à ces deux grandes questions.

Concernant la robustesse des résultats antérieurs, nous avons utilisé des données allant jusqu'en 2001 inclusivement, afin de réévaluer le rôle des technologies de l'information dans la remontée de la productivité depuis le milieu de la décennie quatre-vingt-dix. Ces nouveaux résultats d'analyse des sources de la croissance montrent que les conclusions tirées par Oliner et Sichel (2000a) restent toujours valides. Plus précisément, la production horaire s'est accélérée considérablement après 1995, principalement sous l'effet de *l'emploi* plus répandu, au sein des entreprises de tous les secteurs de l'économie, de biens d'équipement des technologies de l'information et grâce à des gains d'efficacité accrus dans la *production* du matériel des technologies de l'information.

Pour traiter de la question de la durabilité, nous avons analysé les propriétés de l'état stationnaire d'un modèle de croissance multisectoriel. Un tel cadre conceptuel traduit diverses évolutions possibles du secteur technologique et d'autres caractéristiques de l'économie en prédictions de croissance de la productivité du travail. Lorsque nous insérons dans notre modèle des valeurs relativement prudentes comme paramètres clés, nous obtenons une croissance de la productivité du travail en régime permanent de l'ordre de 2 % par année. Cette prédiction passe à environ 2,75 % lorsque nous employons des hypothèses un peu plus optimistes. Nous appelons ces estimations nos « conjectures articulées » et nous les considérons comme des indications de l'éventail probable des résultats au chapitre de la productivité au cours de la prochaine décennie environ. Naturellement, puisque tout exercice prévisionnel de ce genre comporte beaucoup d'incertitudes, nous avons aussi examiné des scénarios qui donneraient des résultats plus extrêmes.

Notre analyse met en évidence que les accroissements futurs de la production horaire seront grandement tributaires du rythme des progrès technologiques dans l'industrie des semi-conducteurs, de même que de l'ampleur de la diffusion dans toute l'économie de produits porteurs de ces avancées technologiques. Cette observation est compatible avec l'importance accordée par Jorgenson (2001) à la technologie des semi-conducteurs. Accroître la compréhension des progrès technologiques dans ce secteur devrait figurer parmi les priorités de tous ceux qui cherchent à élucider les grandes tendances de la productivité.

ANNEXE

SOURCE DES DONNÉES

Nous décrirons maintenant les séries de données que nous avons utilisées pour préparer cet article. Toutes les données sont annuelles et couvrent la période allant de 1973 à 2001.

PRODUCTION RÉELLE DES ENTREPRISES NON AGRICOLES (Y)

Les données allant jusqu'en 2000 (inclusivement) sont tirées du jeu de données du BLS sur la productivité multifactorielle. (Nous avons utilisé les séries publiées en mars 2002.) Pour construire ses séries sur la production, le BLS se base essentiellement sur les données du BEA portant sur la production réelle des entreprises non agricoles à l'exclusion du secteur de l'habitation. Les séries du BEA et du BLS constituent des indices superlatifs de la production. Et pour 2001, nous avons utilisé le taux de croissance annuel des données du BEA sur la production réelle des entreprises non agricoles hors habitation (*NIPA*, tableau 1.8).

Le BLS et le BEA ont incorporé les effets de l'évolution technologique dans l'IPC depuis 1978 (plus spécifiquement, avec le recours aux moyennes géométriques). Toutefois, les données de production datant d'avant 1978 doivent être corrigées pour harmoniser leur méthodologie avec celles qui sont postérieures à cette date. Selon l'*Economic Report of the President* (1999 : 94), l'emploi de moyennes géométriques avant 1978 réduirait l'inflation mesurée par l'IPC de 0,2 de point de pourcentage par année. De 1973 à 1977, les dépenses de consommation correspondaient à environ 85 % de la production des entreprises non agricoles (en dollars courants). En conséquence, l'adoption des moyennes géométriques avant 1978 diminuerait l'inflation dans les prix des entreprises non agricoles de 0,17 de point de pourcentage par année ($= 0,2 \times 0,85$) jusqu'à la fin de 1977 et rehausserait la croissance de la production de ces entreprises d'une valeur équivalente chaque année. Pour 1978, le redressement est moindre parce que le taux de croissance de cette année-là – qui est fonction des niveaux de 1977 et de 1978 – couvre la transition méthodologique. Nous avons donc ajouté 0,17 de point de pourcentage au taux de croissance de la série du BLS concernant la production des entreprises non agricoles pour chaque année jusqu'en 1977 et environ 0,09 de point de pourcentage pour 1978.

INDICE DES PRIX À LA PRODUCTION DES ENTREPRISES NON AGRICOLES (p)

Nous mesurons p avec un dégonfleur implicite des prix, donné par le ratio production en dollars courants / production réelle pour les entreprises non agricoles, à partir des données tirées des séries du BLS concernant la productivité multifactorielle. Pour 1974-1977, nous avons réduit les taux de variation de cette série de 0,17 de point de pourcentage par année pour tenir compte de la révision de l'IPC, que nous avons expliquée au paragraphe précédent. Pour 1978, nous avons

diminué le taux d'environ 0,09 de point de pourcentage. Et pour 2001, nous avons prolongé les séries du BLS à l'aide du taux annuel de croissance de l'indice des prix, fourni par le BEA, pour les entreprises non agricoles hors habitation.

APPORTS DE CAPITAL (K_C , K_{SW} , K_M , K_O)

Nous avons construit les apports de capital en deux étapes. Premièrement, nous avons établi les stocks de capital productif pour un ensemble de catégories d'actif. Deuxièmement, nous avons procédé au regroupement de ces stocks dans les quatre types de capital utilisés comme intrants dans notre analyse.

Stocks productifs des différents types de capital

Pour chaque type de capital, nous avons puisé les données allant jusqu'à la fin de 2000 directement de celles du BLS sur la productivité multifactorielle. Le BLS construit les stocks de capital productif pour des catégories d'actif très désagrégées, à partir des données sur les investissements réels de 61 types de capital, pour ensuite convertir ces flux d'investissements en capital productif à l'aide d'un profil hyperbolique âge-efficience.

Nous avons prolongé ces données du BLS sur les stocks productifs jusqu'en 2001 de la façon suivante²³. Pour le capital fixe non résidentiel – qui constitue l'essentiel de tout le capital utilisé par les entreprises non agricoles –, nous avons prolongé les séries détaillées du BLS concernant les investissements jusqu'en 2001 avec les données des *NIPA* pour cinq grandes catégories d'actif : les ordinateurs et les périphériques, les logiciels, le matériel de communication, les autres équipements et enfin les structures non résidentielles. Pour chacun de ces secteurs (autres que les ordinateurs et les périphériques), nous avons utilisé pour 2001 un taux de croissance des investissements identique à celui de l'ensemble du groupe²⁴. Ainsi, nous avons utilisé le taux de croissance des *NIPA* pour 2001 portant sur l'ensemble des investissements dans les logiciels pour prolonger la série sur les investissements dans chacun des trois types de logiciels.

Pour les ordinateurs et les périphériques, nous avons adopté une procédure plus sophistiquée parce que les taux tendanciels de croissance peuvent diverger passablement d'un type de matériel à l'autre. Premièrement, nous sommes partis des données du BLS pour calculer un taux de croissance moyen, en 1999 et en 2000, des investissements dans chaque type d'ordinateurs et de périphériques : les

23. En fait, le BLS effectue deux sortes de désagrégation : selon le type d'actif et selon l'industrie. Pour les besoins de notre analyse, nous avons utilisé les données par actif, qui avaient déjà été agrégées sur les diverses industries.

24. Moylan (2001) souligne que certaines modifications à la méthodologie seront vraisemblablement apportées aux séries du BEA pour les investissements dans les logiciels lors de la ronde de révisions des lignes directrices des *NIPA* de 2003. On peut donc envisager la possibilité que le niveau des dépenses pour les logiciels soit révisé à la baisse.

gros ordinateurs, les ordinateurs personnels, les imprimantes, les terminaux, les systèmes intégrés et trois types distincts de mémoire. Ces taux de croissance représentent nos estimations de la croissance « tendancielle » pour 2001 dans chaque catégorie particulière. Ensuite, nous avons ajusté ces taux « tendanciels » de telle sorte que les séries sur l'investissement qui en résultent puissent s'agréger en chaîne pour donner le niveau total des investissements réels dans les ordinateurs et les périphériques en 2001²⁵.

Partant d'une estimation des immobilisations réelles de 2001 pour chaque type de capital fixe autre que résidentiel, nous avons prolongé les données du BLS sur les stocks de capital productif jusqu'en 2001 avec la méthode de l'inventaire permanent. Plus précisément, pour chaque type particulier d'actif, nous avons calculé un facteur de transposition (f_t) pour chaque année jusqu'en 2000 (inclusivement) à partir de l'équation suivante :

$$K_t = f_t K_{t-1} + (I_t + I_{t-1}) / 2$$

où (conformément à l'approche du BLS) K_t est la moyenne des stocks à la fin des années t et $t - 1$. Nous avons utilisé la valeur de f_t en 2000 et les données détaillées sur l'investissement afin d'obtenir la valeur des stocks productifs en 2001 pour chaque type d'immobilisation non résidentielle.

Les autres types d'actif inclus dans la mesure des immobilisations non agricoles du BLS sont les logements en location, les stocks commerciaux et les terrains. Dans le cas des logements loués, nous avons prolongé les stocks productifs du BLS jusqu'en 2001 simplement à l'aide d'une équation de régression. Cette équation a été obtenue en effectuant une régression des stocks productifs du BLS sur cette même variable décalée et sur les investissements réels dans des immeubles résidentiels multifamiliaux, publiés dans les *NIPA*. Les coefficients de cette équation, de même que les données des *NIPA* sur les investissements dans des immeubles résidentiels multifamiliaux en 2001, nous permettent d'obtenir une estimation du stock de logements locatifs en 2001. Quant aux stocks commerciaux, nous avons extrapolé les séries du BLS jusqu'en 2001 avec les données des *NIPA*. Enfin, pour les stocks de terrains, nous avons prolongé les séries du BLS jusqu'en 2001 à l'aide du taux moyen de croissance sur la période des cinq ans se terminant à la fin de 2000.

25. Cette méthode de changement d'échelle ne donne pas de résultat sensé si la croissance « tendancielle » estimative de l'investissement dans une catégorie d'actif n'est pas affectée du même signe que la variation réellement observée en 2001 dans le groupe plus général qui l'englobe. Étant donné que de telles divergences de signes se produisent périodiquement pour certaines catégories d'actif dans les secteurs des logiciels, du matériel de communication, des autres équipements et des structures non résidentielles, nous avons eu recours à la méthode moins complexe que nous avons décrite précédemment pour prolonger les séries portant sur les immobilisations autres que le matériel informatique.

Agrégation

Le BLS a recours à la formule de Tornquist pour regrouper les divers stocks de capital productif dans des mesures de services rendus par le capital. L'agrégat de Tornquist est une moyenne pondérée des taux de croissance des différents stocks de capital productif, la pondération pour chaque classe d'actif étant égale à la part estimative du revenu total produite par ce capital. Pour construire notre agrégat de capital pour les ordinateurs et les périphériques, (K_C), nous avons appliqué la formule de Tornquist aux huit composantes de ce genre de matériel. Pour les trois types de logiciels (K_{SW}), nous avons suivi une procédure similaire. Du côté du matériel de communication (K_M), l'agrégat des services du capital est exactement égal au stock productif; la formule de Tornquist n'étant pas nécessaire puisque nous ne partons pas d'une ventilation. Enfin pour obtenir K_O , notre première étape a consisté à étendre la mesure fournie par le BLS sur les services globaux du capital jusqu'à 2001 (en utilisant la formule de Tornquist). Ensuite, de l'agrégat des services du capital, nous avons retiré la contribution des ordinateurs et des périphériques, celle des logiciels et du matériel de communication, pour finalement en arriver à K_O .

HEURES TRAVAILLÉES (H)

Jusqu'à la fin de 2000, les heures travaillées proviennent des données sur la productivité multifactorielle du BLS. Nous avons extrapolé cette série jusqu'en 2001 en utilisant le taux de croissance des heures travaillées par tous les salariés des entreprises non agricoles, données tirées du communiqué du BLS sur les coûts et la productivité.

QUALITÉ DU TRAVAIL (q)

Le BLS mesure la qualité du travail par la différence dans les taux de croissance du *facteur* travail et des *heures* travaillées. Pour calculer le facteur travail, le BLS subdivise la main-d'œuvre selon l'âge, le sexe et la formation avant de construire une moyenne pondérée de la croissance dans les heures travaillées pour chacune de ces subdivisions, dont la pondération est égale à son importance dans la rémunération totale du travail. Jusqu'à la fin de 2000, notre mesure de la qualité du travail provient des données sur la productivité multifactorielle du BLS. Et pour 2001, nous avons supposé que la qualité du travail a contribué à la croissance de la productivité du travail à hauteur de 0,25 de point de pourcentage, ce qui correspond à sa contribution moyenne de 1996 à 2000.

PARTS DE REVENU (α_j)

Dans une année donnée, la part de revenu de chaque sous-type de capital fixe non résidentiel se calcule avec l'équation suivante :

$$\alpha_j = [(R + \delta_j - \Pi_j) p_j K_j] T_j / pY.$$

Nous examinerons chaque partie de cette équation plus loin. Notons que ces parts de revenu varient d'une année à l'autre et *ne* sont donc *pas* fixées à leur valeur moyenne sur la période.

Pour les logements loués, les stocks commerciaux et les terrains, les parts de revenu jusqu'à la fin de 2000 proviennent directement des données sur la productivité multifactorielle du BLS. Et pour 2001, nous avons extrapolé la part de revenu, publiée par le BLS pour l'an 2000, pour chaque type d'actif à l'aide de son taux de croissance tendanciel de 1995 à 2000. En divisant le revenu du capital estimé pour 2001 pour chaque actif par le revenu total dans les entreprises non agricoles, nous avons obtenu les différentes parts de revenu.

Après avoir estimé les parts de revenu pour chaque catégorie de capital fixe, la part de revenu du travail se calcule simplement en retranchant de l'unité le total des parts de revenu du capital.

Taux de dépréciation (δ_j)

Le taux de dépréciation de chaque type d'équipement et de structure provient, pour l'essentiel, du BEA (tel qu'exposé dans Fraumeni, 1997 : 18-19). Toutefois, comme nous l'avons mentionné précédemment, le BEA ne donne guère d'information sur les taux de dépréciation des différents types d'ordinateurs et de périphériques; aussi, imitant Whelan (2000), nous adoptons comme taux de dépréciation une approximation géométrique, calculée à partir des stocks de capital et des flux d'investissement publiés par le BEA. Étant peu satisfaits de la méthodologie du BEA pour déterminer le taux de dépréciation des ordinateurs personnels, nous préférons le fixer à 30 % par année, le même que celui des gros ordinateurs²⁶. Pour

26. Comme l'a expliqué Herman (2000 : 18), le BEA fixe le taux de dépréciation pour les ordinateurs personnels de façon à ce qu'il reste 10 % de leur valeur originelle après cinq ans de service, ce qui sous-entend un taux de dépréciation géométrique annuel de 37 %. Par définition, un tel taux de dépréciation correspond à la perte de valeur complète pendant chacune des cinq années de service prévues pour ces machines. D'autre part, les taux de dépréciation du BEA pour d'autres types de matériel informatique sont construits de façon à ne refléter que la perte de valeur excédant la baisse de l'indice des prix de l'actif (Π_j) à qualité constante. Il s'agit d'une notion de dépréciation que l'on pourrait vouloir associer à Π_j pour mesurer l'érosion totale de la valeur d'un actif dans la formule des parts de revenu. Toutefois, dans le cas des ordinateurs personnels, le taux de dépréciation du BEA est redondant par rapport à Π_j , surestimant ainsi la dépréciation. Une façon de régler ce problème consisterait à éliminer le terme en Π_j de la formule de ventilation des revenus pour les ordinateurs personnels. Mais, cette stratégie ne serait appropriée que si le taux de dépréciation du BEA de 37 % mesurait exactement la perte de valeur totale. Certes, il n'existe pas beaucoup de données fiables sur le sujet, mais nous croyons qu'un ordinateur personnel se déprécie généralement de plus de 37 % par année. C'est pourquoi, omettre le Π_j de la formule de calcul du coût d'usage ne nous semble pas une solution adéquate à ce problème. Nous préférons plutôt fixer le δ_j des ordinateurs personnels au même niveau que pour les gros ordinateurs (30 % par année) et l'insérer dans la formule de calcul des parts de revenu, avec la valeur de Π_j . Ce n'est peut-être pas l'approche parfaite, mais compte tenu de la rareté des recherches sur la dépréciation des ordinateurs personnels, nous la considérons comme la meilleure à notre disposition à l'heure actuelle. (Pour plus d'explications sur diverses questions connexes, voir Oliner, 1994) Des problèmes semblables pouvant éventuellement se retrouver avec d'autres types d'actif, nous estimons essentiel de poursuivre des recherches en ce domaine.

les logiciels, nous avons utilisé les taux de dépréciation du BEA, tels que décrits par Herman (2000 : 19). Le BEA suppose qu'un logiciel commercial a une durée de vie utile estimative de trois ans et un taux de dépréciation de 55 % par année; quant aux logiciels propriétaires et personnalisés, l'organisme leur assigne une durée de vie de 5 ans et un taux de dépréciation de 33 % par année.

Gain / perte en capital nominal prévu (Π_j)

Nous quantifions Π_j à l'aide d'une moyenne mobile sur 3 ans de la variation en pourcentage des prix de l'actif $j(p_j)$. La moyenne mobile sert de variable de substitution pour les anticipations non observables de variation de prix. Jusqu'à la fin de 2000, la série des p_j pour chaque actif est l'indice des prix à l'investissement dans les séries sur la productivité multifactorielle du BLS. Chacune des séries p_j est prolongée jusqu'en 2001 avec la même méthode que celle qui a été utilisée pour l'investissement réel dans le même type d'actif. Autrement dit, nous avons prolongé les séries de prix du BLS jusqu'en 2001 à l'aide des prix des investissements données dans les *NIPA* pour les cinq grandes catégories d'immobilisations non résidentielles : les ordinateurs et les périphériques, les logiciels, le matériel de communication, les autres équipements et les structures non résidentielles²⁷. Pour chaque type d'actif, le taux de variation des prix a été appliqué au p_j de 2000 pour calculer le p_j de 2001.

Stock de capital productif en dollars courants ($p_j K_j$)

Pour chaque actif, cette série est simplement le produit des stocks productifs réels (K_j) par l'indice des prix de l'actif (p_j), deux mesures que nous avons examinées précédemment.

Redressement fiscal (T_j)

Pour chaque actif, ce redressement est égal à $(1 - c - \tau v) / (1 - \tau)$, où c correspond au taux de crédit d'impôt à l'investissement, τ , au taux d'imposition des sociétés et v est la valeur actuelle de 1 \$ de provision pour amortissement aux fins de l'impôt. Karl Whelan nous a gentiment fourni ces séries, qui sont d'ailleurs expliquées davantage dans Whelan (1999).

27. À l'instar de la série sur les investissements, la procédure de changement d'échelle que nous employons pour le matériel informatique ne donne pas des résultats sensés lorsque le taux de changement « tendanciel » des prix pour un élément d'actif n'a pas le même signe que la variation observée en 2001 pour le regroupement dont il fait partie. Étant donné que ces divergences de signes se produisent à l'occasion dans certaines séries de prix pour d'autres secteurs que les ordinateurs, nous avons eu recours à une simple extrapolation, telle que décrite précédemment, pour prolonger la série des prix des investissements en capital fixe non résidentiel autre que le matériel informatique.

Production en dollars courants des entreprises non agricoles (pY)

Jusqu'à la fin de 2000, cette série provient des données du BLS concernant la productivité multifactorielle. Pour 2001, nous avons prolongé la série du BLS à l'aide du taux de croissance annuel de la série du BEA sur la production en dollars courants des entreprises non agricoles, excluant l'habitation.

Rendement nominal net (R)

Nous avons calculé R comme le rendement net *ex post* des stocks productifs de matériel et de structures non résidentiels. Nous avons donc obtenu R en solutionnant l'équation suivante pour chaque année de notre échantillon :

$$\sum_{j=1}^N [(R + \delta_j - \Pi_j) p_j K_j] T_j / pY = \text{série du BLS pour } \sum_{j=1}^N \alpha_j$$

où les sommations portent sur les N types de matériel, de logiciels et de structures non résidentiels. Cette méthode nous a donné une série annuelle pour R jusqu'à la fin de 2000. Et pour 2001, nous avons estimé R à partir d'une régression sur les variables explicatives suivantes : une constante, deux valeurs retardées de R , le taux de variation des prix pour la production des entreprises non agricoles, l'accélération de la production réelle des entreprises non agricoles, le taux de chômage et la part des profits des entreprises dans le PNB.

PARTS DE PRODUCTION EN DOLLARS COURANTS ($\mu_C, \mu_{SW}, \mu_M, \mu_S, \mu_O$)

Le dénominateur de chaque part de production est la production en dollars courants dans le secteur non agricole (pY), dont la provenance a été décrite précédemment. Nous nous focalisons maintenant sur la mesure de la production sectorielle en dollars courants, c.-à-d. le numérateur de chaque part.

Secteur des ordinateurs

Nous avons recours aux données des *NIPA* concernant les ventes finales d'ordinateurs afin de mesurer la production d'ordinateurs en dollars courants ($p_C Y_C$). Les ventes finales selon les *NIPA* sont égales à la somme des dépenses en dollars courants pour des ordinateurs et des périphériques dans les catégories suivantes : les immobilisations privées, la consommation des ménages, les dépenses du gouvernement et les exportations nettes de biens et services. Cette somme omet une petite fraction de la production finale d'ordinateurs qui se trouve dans les stocks commerciaux, puisque les *NIPA* ne ventilent pas ces données, de sorte que nous ne pouvons y distinguer les stocks de matériel informatique des autres stocks commerciaux.

Secteur des logiciels

Pour estimer $p_{sw}Y_{sw}$, nous sommes partis des données non publiées du BEA sur les ventes finales de logiciels en dollars courants, allant de 1987 à 2000. Nous avons ensuite retranché de cette série les logiciels qui n'ont pas été développés par des entreprises non agricoles, en retirant les logiciels produits par le gouvernement pour son compte, tels qu'estimés par le BEA²⁸. Enfin, nous avons prolongé le niveau de 1987 sur les années antérieures et celui de 2000 sur l'année 2001 à l'aide des données des *NIPA* sur la croissance, en dollars courants, des investissements en logiciels effectués par les entreprises.

Secteur du matériel de communication

Pour estimer p_MY_M , nous avons utilisé les données non publiées du BEA sur les ventes finales de matériel de communication (en dollars courants), allant de 1997 à 2000. Nous avons prolongé le niveau de 1997 sur les années antérieures et celui de 2000 sur l'année 2001 à l'aide des données des *NIPA* sur la croissance, toujours en dollars courants, des investissements dans du matériel de communication effectués par les entreprises.

Secteur des semi-conducteurs

Notre série sur la production de semi-conducteurs en dollars courants (p_sY_s) correspond aux livraisons (en dollars courants) de produits de catégorie SIC 36741 (microcircuits intégrés). Le personnel de la Réserve fédérale a construit cette série pour calculer l'indice de la production industrielle, à partir des rapports du Census Bureau (jusqu'à la fin de 1999) et des données commerciales fournies par la Semiconductor Industry Association (SIA) pour 2000 et 2001. Étant donné que cette série ne commence qu'en 1977, nous avons fixé la part de la production des semi-conducteurs (μ_s) pour 1973-1976 à la valeur observée en 1977.

L'autre secteur de production finale

Nous considérons que la production en dollars courants de ce secteur (p_oY_o) correspond au résidu obtenu après avoir comptabilisé toutes les autres composantes de la production non agricole :

$$p_oY_o = pY - p_CY_C - p_{sw}Y_{sw} - p_MY_M - p_S(S_x - S_m)$$

28. Le BEA possède des données non publiées concernant les logiciels développés par le gouvernement pour son propre compte, de 1996 à 2000. De plus, Parker et Grimm (2000) donnent des estimations des logiciels développés par le gouvernement pour les années 1979 et 1992. À partir de ces valeurs, nous avons simplement interpolé linéairement vers le passé la série de données sur les logiciels développées par le gouvernement.

où le dernier terme désigne les exportations nettes de semi-conducteurs en dollars courants. (Il s'agit de la seule partie de la production de semi-conducteurs qui apparaît dans la production finale intérieure.) Les sources de données pour pY , $p_C Y_C$, $p_{SW} Y_{SW}$ et $p_M Y_M$ ont été décrites précédemment. Nous en sommes arrivés aux exportations nettes de semi-conducteurs (en dollars courants) de la façon suivante : pour la période de 1989 à 2001, nous sommes partis de la série construite par la Réserve fédérale américaine sur les importations et exportations nettes (en dollars courants) des produits de catégorie SIC 3 674 (semi-conducteurs et dispositifs connexes), série basée sur les données détaillées fournies par l'International Trade Commission. Étant donné que la catégorie 3 674 englobe plus que les semi-conducteurs, nous avons redimensionné les séries des importations et des exportations de code SIC 3 674 vers le code 36 741 (microcircuits intégrés) à l'aide du ratio des livraisons intérieures du 36 741 sur celles du 3 674. Comme nous ne possédons pas de données détaillées sur le commerce d'avant 1989, nous avons extrapolé vers le passé les séries sur les importations et les exportations, en ayant recours au taux de variation des livraisons intérieures de semi-conducteurs (la série $p_S Y_S$ que nous avons décrite précédemment).

RATIO PRODUCTION / USAGE INTÉRIEUR DES SEMI-CONDUCTEURS ($1 + \theta$)

L'usage intérieur des semi-conducteurs peut s'exprimer comme la production intérieure moins les exportations nettes de semi-conducteurs.

Ainsi,

$$1 + \theta = Y_S / [Y_S - (S_x - S_m)] = p_S Y_S / [p_S Y_S - (p_S S_x - p_S S_m)]$$

où la deuxième égalité convertit chaque série en dollars courants. L'origine de données pour $p_S Y_S$ et $p_S S_x - p_S S_m$ a été décrite précédemment.

TAUX DE VARIATION DES PRIX RELATIFS (π_C , π_{SW} , π_M , π_S)

Chaque série π_i ($i = C, SW, M$ et S) représente le taux de variation du ratio de prix p_i / p_O ²⁹. Nous décrirons donc maintenant les sources de données pour chaque série de prix servant à calculer ces ratios.

Secteur des ordinateurs

p_C est quantifié par le dégonfleur implicite des prix pour la production des ordinateurs, figurant dans les NIPA. Nous avons calculé ce dégonfleur à l'aide du

29. Nous avons calculé le taux de variation de chaque prix relatif comme la variation en pourcentage en regard du ratio de prix de l'année précédente, plutôt que comme par une différence des logarithmes. Bien que les études d'analyse causale de la croissance font souvent usage de l'approximation des différences de logarithmes pour calculer les taux de variation, une telle approximation est trop imprécise pour des variations en pourcentage aussi importantes que celles observées dans les prix relatifs des ordinateurs et des semi-conducteurs.

ratio de la production d'ordinateurs en dollars courants (définie comme la somme de toutes les ventes finales d'ordinateurs et désignée précédemment par $p_c Y_c$) sur une agrégation en chaîne des dépenses réelles dans les mêmes catégories, que nous représentons par Y_c .

Secteur des logiciels

p_{sw} est un dégonfleur implicite des prix pour les logiciels produits dans le secteur non agricole. Nous avons calculé ce dégonfleur à partir des données des *NIPA*, avec le ratio de la production de logiciels en dollars courants (la série $p_{sw} Y_{sw}$ décrite précédemment) sur une agrégation en chaîne des dépenses réelles de logiciels, que nous désignons par Y_{sw} . Pour construire Y_{sw} , nous avons retransché en chaîne les logiciels développés pour le compte du gouvernement de toutes les ventes finales de logiciels, comme nous l'avons fait pour la série en dollars courants. Le taux de croissance des séries agrégées résultantes pour les dépenses réelles en logiciels est ressorti avec un écart de 1 point de pourcentage par année au-dessus du taux de croissance des investissements réels des entreprises dans les logiciels en 1987-2000, période qui correspond à celle pour laquelle nous pouvons construire Y_{sw} . Pour extrapoler Y_{sw} sur les années antérieures à 1987 et à 2001, nous avons eu recours au taux de croissance annuel des investissements réels des entreprises dans les logiciels, corrigé avec l'écart mentionné pour 1987-2000³⁰.

Secteur du matériel de communication

p_M est un dégonfleur implicite pour la production de matériel de communication donnée dans les *NIPA*. Nous avons calculé ce dégonfleur comme le ratio des dépenses en dollars courants pour du matériel de communication (la série $p_M Y_M$ définie précédemment) sur une agrégation en chaîne des dépenses réelles, que nous désignons par Y_M et qui est construit d'une manière analogue à $p_M Y_M$. Plus précisément, pour calculer Y_M , nous avons utilisé des données non publiées du BEA portant sur les ventes finales réelles de matériel de communication allant de 1997 à 2000. Nous avons extrapolé le niveau de 1997 sur les années antérieures et celui de 2000 sur 2001 avec le concours de données publiques des *NIPA* sur la croissance des investissements réels des entreprises dans du matériel de communication.

L'autre secteur de production finale

À l'instar des autres séries sur les prix, p_o est un dégonfleur implicite, qui est égal au ratio de la production en dollars courants de ce secteur (la série $p_o Y_o$

30. La production réelle de logiciels est la seule série extrapolée pour laquelle nous avons eu recours à une correction de ce genre. Pour les autres séries extrapolées, il n'existait pas de divergence significative entre le taux de croissance observé et celui des séries extrapolées.

définie précédemment) sur une agrégation en chaîne de la production réelle du même secteur (Y_o). Nous avons construit Y_o à partir de notre série sur la production réelle non agricole (Y) pour ensuite en retrancher en chaîne toutes les autres composantes de Y (c.-à-d. la production réelle d'ordinateurs, de logiciels et de matériel de communication, en plus des importations et des exportations réelles de semi-conducteurs). D'une façon approximative, le retrait en chaîne inverse l'équation 3 afin de trouver une solution pour la croissance de Y_o et les taux de croissance résultants sont par la suite reliés de façon à créer une série de niveaux indicels. Avant de construire la série des exportations et des importations réelles de semi-conducteurs dont nous aurons besoin pour les retraits en chaîne, nous supposons que les prix des exportations et des importations de semi-conducteurs correspondent à la série portant sur les prix des semi-conducteurs que nous décrivons au prochain paragraphe.

Secteur des semi-conducteurs

Pour 1977-2001, les données pour p_s proviennent du dégonfleur de la catégorie SIC 36741, que le personnel de la Réserve fédérale américaine a développé pour estimer la production industrielle; nous avons utilisé cette série pour calculer la variation annuelle en pourcentage de p_s , de 1978 jusqu'à la fin de 2001. Pour les années antérieures à 1978, nous avons calculé la variation en pourcentage de p_s en extrapolant sur les années antérieures les données de Grimm (1998). Plus précisément, nous avons calculé le pourcentage moyen de variation annuelle entre 1974 et 1977 dans « l'indice rétrospectif des prix des puces de mémoire MOS » (p. 12) de Grimm, et ensuite nous avons pris le ratio de cette moyenne sur la variation en pourcentage pour 1978 d'après la série de la Réserve fédérale. Nous multiplions ensuite le pourcentage de variation pour 1978 provenant de la série de la Réserve fédérale par ce ratio, pour en utiliser le résultat comme le pourcentage de variation de p_s pour chaque année de 1974 à 1977.

LES SEMI-CONDUCTEURS EN PROPORTION DES COÛTS DES INTRANTS EN DOLLARS COURANTS

$(\beta_C^s, \beta_{SW}^s, \beta_M^s, \beta_O^s)$

Secteur des ordinateurs

Nous fixons β_C^s à 0,3 pour toutes les années. Autrement dit, nous supposons que les semi-conducteurs comptent pour 30 % des coûts en dollars courants des intrants pour les constructeurs d'ordinateurs. Cette valeur se situe au milieu de la fourchette utilisée par Triplett (1996). Bien que la SIA publie des données sur l'emploi des semi-conducteurs par les constructeurs d'ordinateurs, elles ne sont pas appropriées pour notre recherche. Comme le faisait remarquer Flamm (1997 : 11), les données de la SIA ne prennent en compte que les semi-conducteurs vendus par les producteurs-vendeurs sur le marché libre; ces données excluent donc la production « captive », effectuée par les constructeurs d'ordinateurs américains eux-mêmes, dont IBM. Par conséquent, des mesures basées sur les données

de la SIA sous-estimeraient grandement l'emploi des semi-conducteurs pendant les années soixante-dix et quatre-vingt, au moment où IBM était le principal constructeur d'ordinateurs aux États-Unis.

Secteur des logiciels

Nous fixons β_{sw}^s à 0 parce que les semi-conducteurs ne sont pas un intrant direct dans la production de logiciels. (Évidemment, l'industrie du logiciel fait usage d'ordinateurs et de matériel de communication contenant des semi-conducteurs, mais elle n'en utilise pas directement.)

Secteur du matériel de communication

Nous avons utilisé des données de la SIA pour construire β_M^s . La SIA nous fournit des données sur les livraisons mondiales de semi-conducteurs pour la période 1976-2001. La SIA publie aussi des données sur la part de ces livraisons mondiales destinée à des fabricants de matériel de communication aux États-Unis pour 1985-1994. À compter de 1994, la SIA a redéfini cette série de façon à couvrir les Amériques. Nous avons amalgamé la série portant sur les États-Unis seulement (jusqu'à la fin de 1994) avec celle qui inclut les Amériques à partir de 1995. (Étant donné que les données sur les parts ne sont disponibles que depuis 1985, nous fixons les parts pour les années antérieures au même niveau que celui de 1985.) Nous avons ensuite multiplié la série sur les parts qui en a résulté par les livraisons mondiales de semi-conducteurs, afin de calculer la valeur en dollars courants des semi-conducteurs utilisés par les fabricants de matériel de communication aux États-Unis. (Dans la mesure où des semi-conducteurs sont utilisés pour produire du matériel de communication ailleurs en Amérique du Nord ou du Sud, la série surévaluera l'emploi des semi-conducteurs aux États-Unis, mais uniquement à partir de 1995.) Pour construire β_M^s , nous divisons la série que nous venons de décrire par notre estimation de la valeur en dollars courants du matériel de communication fabriqué aux États-Unis, $p_M Y_M$. Avant 1976 (période pour laquelle nous n'avons pas de données sur les livraisons mondiales de semi-conducteurs), nous fixons β_M^s à sa valeur de 1976.

L'autre secteur de production finale

Pour estimer β_o^s , rappelons l'expression pour μ_s dans l'équation 22 :

$$\mu_s = \sum_{i=1}^4 \mu_i \beta_i^s (1 + \theta),$$

que l'on peut réécrire avec une notation sectorielle explicite comme

$$\mu_s = [\mu_c \beta_c^s + \mu_{sw} \beta_{sw}^s + \mu_M \beta_M^s + \mu_o \beta_o^s] (1 + \theta).$$

En solutionnant cette équation pour β_o^s , nous obtenons

$$\beta_o^s = \frac{\mu_s - (1 + \theta) [\mu_c \beta_c^s + \mu_{sw} \beta_{sw}^s + \mu_M \beta_M^s]}{\mu_o (1 + \theta)} .$$

La provenance des données de toutes les séries dans le membre de droite a déjà été décrite.

BIBLIOGRAPHIE

- AARONSON, D. et D. SULLIVAN (2001), « Growth in Worker Quality », *Federal Reserve Bank of Chicago Economic Perspectives*, 25 (quatrième trimestre) : 53-74.
- AIZCORBE, A. (2002), « Why are Semiconductor Prices Falling So Fast? Industry Estimates and Implications for Productivity Measurement », Federal Reserve Board, Finance and Economics Discussion Series Paper 2002-20, mars. <www.federalreserve.gov/pubs/feds/200220/200220pap.pdf>.
- BAILY, M. (2002), « The New Economy: Post Mortem or Second Wind? », Institute for International Economics, article non publié.
- BASU, S., J. G. FERNALD et M. D. SHAPIRO (2001), « Productivity Growth in the 1990s: Technology, Utilization, or Adjustment? », *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 55 : 117-165.
- BOSWORTH, B. P. et J. E. TRIPLETT (2000), « What is New About the New Economy? Information Technology, Economic Growth, and Productivity », article non publié, The Brookings Institution.
- BRYNJOLFSSON, E. et L. HITT (2000), « Beyond Computation: Information Technology Organizational Transformation and Business Performance », *Journal of Economic Perspectives*, 14(4) : 23-48.
- CONGRESSIONAL BUDGET OFFICE (2002), *The Budget and Economic Outlook: Fiscal Years 2003-2012*. <www.cbo.gov>. (Consulté : 26 mars 2002).
- DELONG, J. B. (2002), « Productivity Growth in the 2000s », article non publié, University of California at Berkeley.
- DOMAR, E. (1961), « On the Measurement of Technological Change », *Economic Journal*, 71 : 309-329.
- DOMS, M. (2002), « Communications Equipment: What has Happened to Prices? », article non publié, Réserve fédérale américaine.
- ECONOMIC REPORT OF THE PRESIDENT (1999), Washington, D.C, U.S. Government Printing Office.
- ECONOMIC REPORT OF THE PRESIDENT (2002), Washington, D.C, U.S. Government Printing Office.
- FLAMM, K. (1997), *More for Less: The Economic Impact of Semiconductors*, Semiconductor Industry Association.
- FRAUMENI, B. M. (1997), « The Measurement of Depreciation in the U.S. National Income and Product Accounts », *Survey of Current Business*, 77 : 7-23.
- GORDON, R. J. (2000), « Does the 'New Economy' Measure up to the Great Inventions of the Past? », *Journal of Economic Perspectives*, 14 (automne) : 49-74.
- GORDON, R. J. (2002), « Technology and Economic Performance in the American Economy », National Bureau of Economic Research, document de travail n° 8 771.
- GRIMM, B. (1998), « Price Indexes for Selected Semiconductors, 1974-96 », *Survey of Current Business* 78 (février) : 8-24.

- HERMAN, S. (2000), « Fixed Assets and Consumer Durable Goods », *Survey of Current Business*, 80 (avril) : 17-30.
- HULTEN, C. R. (1978), « Growth Accounting With Intermediate Inputs », *The Review of Economic Studies*, 45 (octobre) : 511-518.
- JORGENSEN, D. W. (2001), « Information Technology and the U.S. Economy », *American Economic Review*, 91 (mars) : 1-32.
- JORGENSEN, D. W., M. S. HO et K. J. STIROH (2002), « Projecting Productivity Growth: Lessons from the U.S. Growth Resurgence », *Federal Reserve Bank of Atlanta Economic Review*, 87 (troisième trimestre) : 1-13.
- JORGENSEN, D. W. et K. J. STIROH (2000), « U.S. Economic Growth in the New Millenium », *Brookings Papers on Economic Activity*, 1 : 125-211.
- KILEY, M.T. (2001), « Computers and Growth with Frictions: Aggregate and Disaggregate Evidence », *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 55 : 171-215.
- MACROECONOMIC ADVISERS (2002), *Economic Outlook*, St. Louis, Missouri.
- MARTIN, B. (2001), « American Potential. UBS Asset Management », mai.
<www.phillipsdrew.com/research/american_potential.pdf>. (Consulté le 26 mars 2002).
- McKINSEY GLOBAL INSTITUTE (2001), *US Productivity Growth 1995-2000: Understanding the Contribution of Information Technology Relative to Other Factors*, Washington, D.C., McKinsey Global Institute, octobre.
- MOYLAN, C. (2001), « Estimation of Software in the U.S. National Accounts: New Developments. Organization for Economic Cooperation and Development », STD / NA(2001)25, 24 septembre 2001.
- OLINER, S. D. (1994), « Measuring Stocks of Computer Peripheral Equipment: Theory and Application », article non publié, Réserve fédérale américaine.
- OLINER, S. D. et D. E. SICHEL (2000a), « The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story? », *Journal of Economic Perspectives* 14 (automne) : 3-22.
- OLINER, S. D. et D. E. SICHEL (2000b), « The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story? », Réserve fédérale américaine, Finance and Economics Discussion Series Paper 2000-20.
<www.federalreserve.gov/pubs/feds/2000/200020/200020pap.pdf>.
- PARKER, R. et B. GRIMM (2000), « Software Prices and Real Oupput: Recent Developments at the Bureau of Economic Analysis », Bureau of Economic Analysis, article non publié, avril.
- PHISTER, M. Jr. (1979), *Date Processing Technology and Economics*, 2^e éd. Santa Monica Publishing Company and Digital Press, Bedford, Ma.
- ROBERTS, J. M. (2001), « Estimates of the Productivity Trend Using Time-varying Parameter Techniques », *Contributions to Macroeconomics*, 1(1).
<www.bepress.com/bejm/contributions/vol1/iss1/art3>. (Consulté le 26 mars 2002).

- SICHEL, D. E. (1997), *The Computer Revolution: An Economic Perspective*, Washington, D.C., The Brookings Institution.
- SOLOW, R. (1957), « Technical Change and the Aggregate Production Function », *Review of Economics and Statistics*, 39 (août) : 65-94.
- STEINDEL, C. et K. J. STIROH. (2001), « Productivity Growth: What is It and Why do we Care About It? », *Business Economics*, 36 (octobre) : 13-31.
- TRIPLETT, J. E. (1996), « High-tech Industry Productivity and Hedonic Price Indices. », *in Industry Productivity: International Comparison and Measurement Issues*, Proceedings of May 2-3, 1996 OECD workshop, 119-142, Paris, Organisation de coopération et de développement économiques.
- WHELAN, K. (2001), « A Two-secteur Approach to Modeling U.S. NIPA data », Réserve fédérale américaine, Finance and Economics Discussion Series Paper 2001-4, avril.
<www.federalreserve.gov/pubs/feds/2001/200104/200104pap.pdf>.
- WHELAN, K. (2000), « Computers, Obsolescence, and Productivity », Réserve fédérale américaine. Finance and Economics Discussion Series Paper 2000-6, février.
<www.federalreserve.gov/pubs/feds/2000/200006/200006pap.pdf>.
- WHELAN, K. (1999), « Tax Incentives, Material Inputs, and the Supply Curve for Capital Equipment », Réserve fédérale américaine, Finance and Economics Discussion Series Paper 1999-21, avril.
<www.federalreserve.gov/pubs/feds/1999/199921/199921pap.pdf>.
- ZRAKET, C.A. (1992), « Software Productivity Puzzles, Policy Challenges », *in* A. ALIC *et al.* (éds), *In Beyond Spiroll Military and Commercial Technologies in a Changing World*, Harvard Business School Press, p. 283-313.